

DANIEL PEREIRA GUIMARÃES

Estimativa do Volume de *Eucalyptus* spp. através de Posições Absolutas no Tronco.

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do grau e título de Mestre em Ciências Florestais.

CURITIBA
1 9 8 5

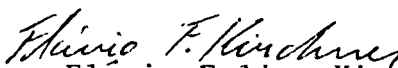



COORDENAÇÃO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

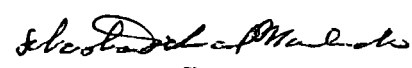
PARECER

Os membros da Comissão Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado apresentada pelo candidato DANIEL PEREIRA GUIMARÃES, sob o título "ESTIMATIVA DO VOLUME DE EUCALYPTUS SPP ATRAVÉS DE POSIÇÕES ABSOLUTAS NO TRONCO" para obtenção do grau de Mestre em Ciências Florestais - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, área de concentração MANEJO FLORESTAL, após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, são de parecer pela "APROVAÇÃO" da Dissertação, completando assim os requisitos necessários para receber o grau e o Diploma de Mestre em Ciências Florestais. Observação: O critério de avaliação da Dissertação e defesa da mesma a partir de novembro de 1980 é apenas APROVADA ou NÃO APROVADA.

Curitiba, 1º de fevereiro de 1985.


Professor Flávio Felipe Kirchner, DR.
Primeiro Examinador


Professor Sylvio Pellico Netto, DR.
Segundo Examinador


Professor Sebastião do Amaral Machado, Ph.D
Presidente

Dedico este trabalho à
minha esposa Simone e
a meu filho Fernando.

AGRADECIMENTOS

O autor deseja manifestar seus agradecimentos ao orientador principal, Prof. Sebastião do Amaral Machado e aos professores Sylvio Péllico Netto e Flávio Felipe Kirchner, pela dedicação e capacidade com que orientaram este trabalho.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, através do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, que tornou possível o seu treinamento.

À Companhia Siderúrgica Belgo Mineira, através de sua subsidiária Companhia Agrícola e Florestal Santa Bárbara e especialmente na pessoa do Eng. Florestal Márcio Campos Torquato, pela obtenção de grande parte dos dados de campo.

Ao técnico agrícola Gérson Luís Carlos de Souza, pela colaboração na digitação e análise dos dados.

À Ines Rotta, pelo serviço de datilografia e montagem do trabalho.

Finalmente, a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a execução deste trabalho.

SUMÁRIO

| | | |
|-------|---|-----|
| | LISTA DE FIGURAS | vii |
| | LISTA DE TABELAS | ix |
| | BIOGRAFIA DO AUTOR | xi |
| | RESUMO | xii |
| | INTRODUÇÃO | 1 |
| 1. | <u>REVISÃO DE LITERATURA</u> | 7 |
| 1.1 | ESTIMATIVA DO VOLUME ATRAVÉS DE POSIÇÕES RELATIVAS | 8 |
| 1.2 | ESTIMATIVA DO VOLUME ATRAVÉS DE POSIÇÕES ABSOLUTAS . | 12 |
| 1.3 | ESTIMATIVA DO VOLUME ATRAVÉS DE POSIÇÕES ARBITRÁ- RIAS | 15 |
| 1.4 | OUTROS MÉTODOS DE ESTIMATIVA DO VOLUME | 16 |
| 2. | <u>MATERIAIS E MÉTODOS</u> | 18 |
| 2.1 | SELEÇÃO DA TÉCNICA DE ESTIMATIVA DO VOLUME | 18 |
| 2.2 | INFORMAÇÃO SOBRE OS DADOS | 19 |
| 2.2.1 | Espécies | 19 |
| 2.2.2 | Locais | 20 |
| 2.2.3 | Idades | 21 |
| 2.2.4 | Espaçamentos | 21 |
| 2.2.5 | Rotações | 22 |
| 2.2.6 | Dados de Campo | 23 |
| 2.3 | ANÁLISES ESTATÍSTICAS | 26 |
| 2.3.1 | Ajuste de Modelos | 26 |
| 2.3.2 | Seleção de Modelos | 29 |
| 2.3.3 | Aplicação dos Modelos | 30 |

| | | |
|-------|---|----|
| 2.3.4 | Comparação das Equações | 32 |
| 3. | <u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u> | 39 |
| 3.1 | VARIAÇÕES DOS DADOS | 39 |
| 3.2 | DETERMINAÇÃO DOS MODELOS | 40 |
| 3.3 | AJUSTE E SELEÇÃO DE EQUAÇÕES DE VOLUME | 51 |
| 3.4 | ANÁLISES DE APLICAÇÃO | 56 |
| 3.4.1 | Análise da Probabilidade Associada | 56 |
| 3.4.2 | Análise de Covariância | 58 |
| 3.4.3 | Análise da Eficiência Relativa | 60 |
| 3.4.4 | Plotagem Gráfica | 62 |
| 4. | <u>CONCLUSÕES</u> | 70 |
| | SUMMARY | 72 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 76 |
| | ANEXOS I - ANÁLISE DA PROPORÇÃO DA CASCA | 81 |
| | II - ERROS PERCENTUAIS POR CLASSE DE VOLUME DETERMINADO PELO AJUSTE DE EQUAÇÕES DE VOLUME AOS DADOS OBTIDOS POR CUBAGEM RIGOROSA(1) E ESTIMADOS ATRAVÉS DE POSIÇÕES ABSOLUTAS NO TRONCO (2) | 88 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-----|--|----|
| 1 - | LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DOS LOCAIS DE COLETA DE DADOS | 22 |
| 2 - | INFLUÊNCIA DA ALTURA DE MEDIÇÃO DO DIÂMETRO EM SUA CORRELAÇÃO COM O VOLUME TOTAL | 42 |
| 3 - | INFLUÊNCIA DO NÚMERO DE VARIÁVEIS E SUAS LOCALIZAÇÕES NO TRONCO EM RELAÇÃO À PRECISÃO DE ESTIMATIVA DOS MODELOS | 48 |
| 4 - | PERCENTUAIS CUMULATIVOS DE ERRO OBTIDOS PELA ESTIMATIVA DO VOLUME ATRAVÉS DOS MODELOS $V_1 = f(d, d_{5,3}, h)$ E $V_2 = f(d_{0,3}, d_{3,3}, d_{5,3}, h)$ | 50 |
| 5 - | ERROS PERCENTUAIS POR CLASSE DE VOLUME PARA O POVOAMENTO ALCF7222 DETERMINADOS PELO AJUSTE DE EQUAÇÕES DE VOLUME AOS DADOS REAIS (1) E ESTIMADOS (2) | 64 |
| 6 - | ERROS PERCENTUAIS POR CLASSE DE VOLUME PARA O POVOAMENTO ALCF8222 DETERMINADOS PELO AJUSTE DE EQUAÇÕES DE VOLUME AOS DADOS REAIS (1) E ESTIMADOS (2) | 64 |
| 7 - | ERROS PERCENTUAIS POR CLASSE DE VOLUME PARA O POVOAMENTO CLEX7132 DETERMINADOS PELO AJUSTE DE EQUAÇÕES DE VOLUME AOS DADOS REAIS (1) E ESTIMADOS (2) | 65 |
| 8 - | ERROS PERCENTUAIS POR CLASSE DE VOLUME PARA O PO- | |

| | | |
|------|---|----|
| | VOAMENTO CLMC5121 DETERMINADOS PELO AJUSTE DE EQUAÇÕES DE VOLUME AOS DADOS REAIS (1) E ESTIMA- DOS (2) | 65 |
| 9 - | ERROS PERCENTUAIS POR CLASSE DE VOLUME PARA O PO- VOAMENTO GRCB4132 DETERMINADOS PELO AJUSTE DE EQUAÇÕES DE VOLUME AOS DADOS REAIS (1) E ESTIMA- DOS (2) | 66 |
| 10 - | ERROS PERCENTUAIS POR CLASSE DE VOLUME PARA O PO- VOAMENTO GRCB5132 DETERMINADOS PELO AJUSTE DE EQUAÇÕES DE VOLUME AOS DADOS REAIS (1) E ESTIMA- DOS (2) | 66 |
| 11 - | ERROS PERCENTUAIS POR CLASSE DE VOLUME PARA O PO- VOAMENTO GRMC2132 DETERMINADOS PELO AJUSTE DE EQUAÇÕES DE VOLUME AOS DADOS REAIS (1) E ESTIMA- DOS (2) | 67 |
| 12 - | ERROS PERCENTUAIS POR CLASSE DE VOLUME PARA O PO- VOAMENTO GRSB4132 DETERMINADOS PELO AJUSTE DE EQUAÇÕES DE VOLUME AOS DADOS REAIS (1) E ESTIMA- DOS (2) | 68 |
| 13 - | ERROS PERCENTUAIS POR CLASSE DE VOLUME PARA O PO- VOAMENTO SADN3222 DETERMINADOS PELO AJUSTE DE EQUAÇÕES DE VOLUME AOS DADOS REAIS (1) E ESTIMA- DOS (2) | 68 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|------|---|----|
| 1 - | PROCEDÊNCIA DAS ESPÉCIES DE <i>Eucalyptus</i> | 20 |
| 2 - | DADOS REFERENTES AOS POVOAMENTOS UTILIZADOS PARA A ESTIMATIVA DO VOLUME ATRAVÉS DE POSIÇÕES ABSO- LUTAS | 26 |
| 3 - | LIMITE DE VARIAÇÃO DOS DADOS | 39 |
| 4 - | MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS ANALISADAS | 41 |
| 5 - | RESULTADOS REFERENTES À APLICAÇÃO DO PROCESSO SE- LETIVO FORWARD (INCLUINDO TODAS AS VARIÁVEIS) PA- RA UM NÍVEL CRÍTICO DE $F = 0,05$ - VARIÁVEIS NA FORMA LINEAR | 44 |
| 6 - | RESULTADOS REFERENTES À APLICAÇÃO DO PROCESSO SE- LETIVO FORWARD (INCLUINDO TODAS AS VARIÁVEIS) PA- RA UM NÍVEL CRÍTICO DE $F = 0,05$ - VARIÁVEIS NA FORMA LOGARÍTMICA | 45 |
| 7 - | RESULTADOS REFERENTES À APLICAÇÃO DO PROCESSO SE- LETIVO FORWARD (EXCLUINDO O DIÂMETRO A 1,30 ME- TROS) PARA UM NÍVEL CRÍTICO DE $F = 0,05$ - VARIÁ- VEIS NA FORMA LOGARÍTMICA | 47 |
| 8 - | SELEÇÃO DOS MODELOS PARA AJUSTE AOS DADOS DOS PO- VOAMENTOS ATRAVÉS DO ÍNDICE DE FURNIVAL | 53 |
| 9 - | EQUAÇÕES DE VOLUME SELECIONADAS A PARTIR DO AJUS- TE DOS MODELOS AOS DADOS REAIS | 54 |
| 10 - | EQUAÇÕES DE VOLUME SELECIONADAS A PARTIR DO AJUS- | |

| | | |
|------|--|----|
| | TE DOS MODELOS AOS DADOS DE VOLUME, ESTIMADOS ATRAVÉS DE POSIÇÕES ABSOLUTAS NO TRONCO | 55 |
| 11 - | ANÁLISE DE SEQUÊNCIA DOS SINAIS ATRAVÉS DA PROBABILIDADE ASSOCIADA DOS RESÍDUOS GERADOS PELA APLICAÇÃO DE EQUAÇÕES DE VOLUME INDIRETAS AOS DADOS REAIS DE VOLUME | 57 |
| 12 - | COMPARAÇÃO ENTRE AS EQUAÇÕES DETERMINADAS A PARTIR DOS VOLUMES REAIS E ESTIMADOS POR POSIÇÕES ABSOLUTAS, ATRAVÉS DAS ANÁLISES DE COVARIÂNCIA E EFICIÊNCIA RELATIVA | 59 |
| 13 - | ERROS (%) RELATIVOS À ANTI-LOGARITMIZAÇÃO DOS DADOS DE VOLUME DETERMINADOS PELA APLICAÇÃO DO MODELO $\text{LnV} = b_0 + b_1 \cdot \text{Ldn} + b_2 \cdot \text{LnH}$ | 61 |

BIOGRAFIA DO AUTOR

Daniel Pereira Guimarães, filho de Rômulo Pereira Guimarães e de Maria Vasconcelos Guimarães, nasceu em Carmo do Cajuru, Estado de Minas Gerais, em 27 de junho de 1953.

Em 1973, ingressou na Escola Superior de Florestas da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, graduando-se em dezembro de 1976.

Em 1977, foi contratado pelo PRODEPEF (Projeto de Desenvolvimento e Pesquisa Florestal) onde atuou como contraparte do Dr. Lamberto Golfari.

Em abril de 1978, foi contratado como pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), para atuação junto à equipe do Programa Nacional de Pesquisa Florestal (PNPF), lotada no Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC).

Em 1983, iniciou o curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, concluindo os requisitos para a obtenção do grau de M.Sc. em janeiro de 1985.

RESUMO

O principal objetivo deste trabalho foi determinar uma equação de volume aplicável a *Eucalyptus* spp independente da espécie, local, idade, espaçamento e tipo de plantio.

Nestas investigações foram utilizados dados referentes a 11 espécies, 6 diferentes regiões bioclimáticas e 6 espaçamentos. As idades variavam entre 2 e 9 anos e os dados provinham de plantios por sementes (alto fuste) ou por brotações (talhadia).

A determinação do modelo formal baseou-se na análise de diâmetros situados em posições absolutas no tronco. Estas posições foram tomadas de metro em metro até a altura de 7,30 metros da base.

Constatou-se ser o diâmetro localizado na altura de 5,30 metros da base como o de maior correlação com o volume total.

Submetendo-se as variáveis ao processo seletivo FORWARD, selecionou-se o seguinte modelo para explicar o volume:

$$\text{LnV} = b_0 + b_1 \cdot \text{Lnd}_{0,3} + b_2 \cdot \text{Lnd}_{3,3} + b_3 \cdot \text{Lnd}_{5,3} + b_4 \cdot \text{Lnh},$$
 cujos coeficientes determinados para a resolução das variáveis, em unidades métricas, foram:

$$b_0 = 0,38937$$

$$b_1 = 0,28109$$

$$b_2 = 0,63019$$

$$b_3 = 1,04358$$

$$b_4 = 0,58736$$

Dadas as dificuldades de se medir estas variáveis em situações práticas, optou-se em determinar equações de volume, cujas variáveis dependentes tenham sido os volumes estimados pelo modelo. Assim, estas medidas somente seriam tomadas naquelas árvores que normalmente seriam abatidas para a obtenção do volume através de cubagem rigorosa.

Para ambos os casos de obtenção do volume (cubagem rigorosa ou estimativa do volume pela aplicação do modelo formal) foram ajustadas as equações da variável combinada de SPURR⁴³ e a equação logarítmica de SCHUMACHER & HALL³⁶, sendo, para cada caso a melhor equação de ajuste selecionada pelo índice de FURNIVAL¹¹.

A partir do teste do Qui-Quadrado proposto por Freese, desenvolveu-se um novo método para a comparação de equações, denominado de Método da Eficiência Relativa e cuja fórmula é dada por:

$$ER\% = 100 - 10 \left(\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_{is})^2}{\sum_{i=1}^n (d_{ir})^2} - 1} \right)$$

Onde d_{is} refere-se à diferença entre o volume estimado pela equação, cuja aplicabilidade está sendo testada, e o volume real; d_{ir} refere-se às diferenças entre os volumes estimados pela equação ajustada aos volumes cubados em relação a estes próprios.

Para a comparação das equações foram aplicados os seguintes testes:

- teste de Z (Análise da Probabilidade Associada);
- teste do Paralelismo e Coindidência (Análise de Covariância);

- teste da Eficiência Relativa.

Como base comparativa dos testes, procedeu-se a interpretação gráfica dos resultados admitindo não haver diferenças significativas entre as equações quando o modelo a ser testado não apresentasse erros maiores que 5% em relação aos volumes estimados pela equação ajustada aos dados reais ou à média dos volumes reais por classe de volume de $.05 \text{ m}^3$.

Verificou-se que apenas as análises de Covariância e Eficiência Relativa se mostraram eficientes para comparar as equações. Verificou-se, também, que a Análise de Covariância constituía-se num teste muito rigoroso, podendo rejeitar a igualdade de equações, cujos resultados relativos à estimativa do volume, em termos práticos poderiam ser considerados como se melhantes.

Recomenda-se, portanto, a utilização do Método da Eficiência Relativa para que comparações deste tipo sejam realizadas.

Dos 38 povoamentos analisados, apenas dois (ALCF8222 e CLEX7132) apresentaram erros acima do limite estabelecido de 5%, quando as equações, obtidas a partir dos dados cubados rigorosamente, foram comparadas com aquelas cuja variável dependente se referia aos volumes estimados pelo modelo formal. Da análise dos dados, foram identificados anomalias que contribuíram para a ocorrência destes erros.

Sugeriu-se o emprego do modelo selecionado para utilização em trabalhos práticos desde que o limite de 5% de erro seja aceitável na estimativa do volume.

Em relação à análise da proporção de casca, determinou-se um modelo para estimar o percentual de casca para as espécies *E*.

alba "hibrido de Rio Claro", *E. grandis* e *E. saligna*.

Obteve-se o percentual de casca pela fórmula:

$$\% \text{ CASCA} = 100(1 - C_{sc}/C_{1,3} \cdot e^{-0,16024 + 0,02226 \cdot \ln C_{1,3}})$$

Onde: C_{sc} é a circunferência sem casca (em cm) ao nível do peito;

$C_{1,3}$ é a circunferência com casca (em cm) ao nível do peito.

A aplicação deste modelo mostrou-se eficiente para estimar a proporção de casca para estas espécies independente dos fatores relacionados as suas procedências, idades, locais, espaçamentos e tipo de regeneração do povoamento.

INTRODUÇÃO

A otimização do aproveitamento de bens produzidos por uma floresta está diretamente relacionada ao conhecimento da quantidade destes recursos existentes no povoamento. Dentre deste contexto, a quantificação do volume de madeira torna-se um dos principais fatores influentes nas tomadas de decisão para a maioria das atividades ligadas à área florestal.

Conhecer a produção volumétrica de um povoamento implica necessariamente na determinação de volumes individuais das árvores que o compõem. Dado ao grande número de árvores, geralmente existentes nos povoamentos, e às dificuldades existentes na determinação dos volumes individuais, normalmente, estas investigações são efetuadas por amostragens que fornecem as informações exigidas dentro de um certo limite de erro.

A determinação do volume de árvores-amostra depende do conhecimento prévio de três variáveis independentes a este diretamente relacionadas, ou seja, diâmetro, altura e forma. Em termos práticos, para a obtenção destas variáveis são exigidos diferentes graus de dificuldade.

A medição do diâmetro é efetuada em posições pré-determinadas no tronco, sendo tradicionalmente utilizados o Diâmetro ao Nível do Peito (d), medido à altura fixa de 1,30 metros a partir da base ou o diâmetro inicial das seções de HOHENADL¹⁵ ($d_{0,1h}$) que se situa na posição correspondente a 10% da altura

total (h).

Quanto a medição da altura, esta poderá ser feita com o auxílio de instrumentos conhecidos como hipsômetros. Neste caso, a precisão das estimativas dependerá, basicamente, do tipo de instrumento utilizado e da habilidade de seu operador em manejá-lo.

Torna-se, assim, evidente que todas as complicações existentes na determinação do volume estão relacionadas à correta estimativa da forma, ou seja, de como os diâmetros variam ao longo da extensão do tronco. É sabido que estas variações definem tipos de forma que podem ser comparáveis com figuras geométricas que vão desde o neilóide até semelhanças com parabolóides ordinários. Dentre os fatores que contribuem para a definição de diferentes tipos de forma podem ser identificados, como mais importante, os determinados por influência da espécie, espaçamento, sítio e idade.

Para facilitar a obtenção do volume de árvores individuais, vários métodos de cubagem têm sido desenvolvidos. Estes podem ser agrupados em duas técnicas distintas, ou seja, os métodos de cubagem direta e os de cubagem indireta.

Os métodos de cubagem direta são mais conhecidos como métodos de cubagem rigorosa. Neste caso, normalmente a árvore é abatida e seccionada para que a determinação do volume possa ser efetuada. A obtenção do volume poderá ser conseguida por diferentes procedimentos, tais como: a imersão em líquidos, métodos gráficos e fórmulas especiais de cubagem. Devido sua praticidade, normalmente, as fórmulas de cubagem são empregadas, sendo as mais comumente utilizadas as propostas por SMALIAN, HUBER e HOHENADL¹⁵.

Entretanto, muitas vezes, a utilização da cubagem direta torna-se inconveniente e até mesmo impraticável, fazendo-se necessária a utilização de técnicas que possibilitem estimar o volume sem que a árvore seja abatida. Todos os métodos de cubagem indireta estão relacionados com a determinação de diâmetros superiores no tronco (d_i) pela necessidade de utilizar variáveis que sejam capazes de expressar as variações de volume em função da forma dos troncos. A aceitação dos métodos de cubagem indireta para efeitos de utilização prática depende basicamente dos níveis de precisão que estes poderão fornecer e do grau de dificuldade exigido para a obtenção dos diâmetros superiores. Portanto, faz-se necessário que o número de diâmetros superiores a serem medidos seja o menor possível e estejam em posições que permitam explicar as variações de forma, além de serem relativamente fáceis de medir.

Vários instrumentos de medição de diâmetros superiores no tronco foram desenvolvidos para que esta prática pudesse ser concretizada. Como exemplos podem ser citados o Relascópio e Telerelescópio de BITTERLICH³, o Dendrômetro de BARR & STROUD, o Pentaprisma de WHELLER e a Suta Finlandesa. Dentre estes, a Suta Finlandesa efetua medições diretas de diâmetros até uma altura de 7 metros, enquanto os demais estimam os diâmetros para qualquer posição visível do tronco, através de relações óticas.

Uma vez obtidas informações a respeito das variáveis diâmetro, altura e forma, poderão ser ajustados modelos matemáticos para explicar as variações do volume. Do ajuste destes modelos, esperam-se aplicações bem mais amplas que as obtidas pelas tradicionais equações de volume onde as estimativas são e-

fetuidas tendo-se como base as variáveis diâmetro e/ou diâmetro e altura.

Normalmente os diâmetros superiores são estimados sobre a casca e sua aplicação fica limitada às estimativas do volume total com casca (V_{CC})*. Como em muitas ocasiões o volume total sem casca (V_{SC}) constitui-se na principal variável de interesse, estudos sobre as variações dos percentuais de casca passam, também, a ser exigidos.

OBJETIVOS

Tendo como base a aplicação da técnica de cubagem indireta através de posições absolutas para povoamentos de *Eucalyptus* spp, investigações foram feitas objetivando:

- a) identificar as posições de medição do diâmetro no tronco, em função de suas contribuições para a explicação do volume;
- b) determinar equações cujas soluções forneçam estimativas do volume para diferentes espécies, deste gênero, sobre diferentes situações de plantio;
- c) testar a capacidade explicativa dos modelos e indicar os de maior possibilidade de utilização prática e seus limites de aplicação;
- d) identificar os principais problemas relativos a utilização desta técnica e recomendá-los como futuros objetos de pesquisa;
- e) determinar as tendências de variações do percentual de casca para as espécies estudadas.

*Dentro do possível, procurou-se empregar a simbologia recomendada pela IUFRO no trabalho "The standardization of Symbols in Forest Mensuration". Em alguns casos são utilizados símbolos mais familiarizados ao setor florestal brasileiro.

JUSTIFICATIVA

A escolha do gênero *Eucalyptus* como fonte de dados para a realização do trabalho foi influenciada pelo fato das espécies deste gênero comporem a maioria dos reflorestamentos realizados no país e suas utilizações serem importantes em diversos setores da economia tais como na produção de energia (carvão vegetal e álcool de madeira), celulose e papel, chapas de madeira e outros. Além disto, para a maioria das atividades que utilizam a madeira de eucalipto, a produção de volumes totais com ou sem casca constitui-se nas principais variáveis de interesse.

A opção em analisar a contribuição de diâmetros superiores na explicação do volume, tendo como base posições absolutas no tronco foi decidida de modo a permitir sua utilização sem a necessidade do emprego de instrumentos ópticos de medição (caros e nem sempre disponíveis) e pessoal com menor nível de treinamento na obtenção de campo.

A existência de um modelo geral de estimativa do volume baseado nos diâmetros superiores apresenta vários aspectos vantajosos, como:

- a) facilitar a coleta de dados para a elaboração de tabelas de volume e evitar a necessidade do abate de árvores para cubagem;
- b) padronização de dados para a formação de um banco de dados dendrométricos;
- c) possibilidade de analisar experimentos em termos volumétricos, uma vez que o emprego de um modelo formal

eliminaría a necessidade do abate de árvores para as determinações de volume;

- d) estudos de variação da forma em função da idade que iriam definir os períodos de validade das tabelas de volume e também permitir uma maior aproximação da curva real de crescimento, facilitando sobremaneira os trabalhos de prognose;
- e) testes de equações de volume para verificar a possibilidade de utilização de um modelo para povoamentos diferentes daquele que o originou;
- f) inventários regionais, envolvendo diferentes locais e tipos de povoamentos, onde a cubagem rigorosa se torna um fator de dificuldade e encarecimento na execução do trabalho;
- g) seleção de árvores matrizes, onde a seleção de árvores de maiores fatores de forma poderá ser importante objeto de pesquisa, visando ganhos de produtividade.

1. REVISÃO DE LITERATURA

É importante salientar que qualquer artifício matemático empregado para fornecer estimativas de volume tendo como base apenas um diâmetro e altura, por mais preciso que seja, só poderá exprimir o volume médio. Isto é válido tanto para as tabelas de volume quanto para as funções de forma. Assim, quanto maior for a variação da forma (variável esta normalmente não incluída nos modelos), maior poderá ser a dispersão dos resíduos em torno da linha de regressão, restringindo a aplicação das equações de dupla-entrada àquelas condições, cujos dados as originaram. Neste sentido, PAULA NETO et alii^{2 6} alertaram para a necessidade de se proceder testes de aplicabilidade para o uso de tabelas de volume em locais ou espécies diferentes dos que a originaram. AHRENS¹ utilizou estes mesmos argumentos para refutar a idéia de uma função de forma universal.

Uma maior explicação dos modelos só poderá ser obtida se estes contiverem medidas adicionais capazes de expressar as variações de forma, o que implica necessariamente na utilização de variáveis situadas em posições superiores do tronco. Segundo ARNEY & PAINE², um dos problemas ainda existentes em relação a utilização de modelos formais, refere-se a definição do número de diâmetros superiores a serem medidos, e, em que posições do tronco estes deveriam ser localizados. Como a medição dos diâmetros em posições superiores no tronco são efetuadas em árvo-

res em pé, a aplicação prática de modelos formais torna-se altamente dependente do grau de dificuldade com que estas informações são obtidas.

As principais pesquisas desenvolvidas para a determinação de modelos formais poderiam ser diferenciadas em três métodos distintos, ou seja, aqueles que se baseiam em posições relativas, os baseados em posições absolutas e os baseados em posições arbitrárias no tronco.

1.1. ESTIMATIVA DO VOLUME ATRAVÉS DE POSIÇÕES RELATIVAS

Este é o método mais divulgado para a estimativa do volume de árvores em pé. Neste caso, a localização dos diâmetros superiores é feita em relação ao diâmetro ao nível do peito ou da altura total da árvore. O processo mais antigo de estimativa do volume por este método foi desenvolvido por PRESSLER, no qual a altura correspondente à redução de "d" à metade é tomada como base para explicar o volume total. A estimativa do volume total é dada pela fórmula:

$$V = 2/3.g.(h_f + 0,65)$$

Onde V é o volume total, g é a área basal e h_f a altura formal de PRESSLER.

Novas perspectivas para sua utilização prática surgiram com o advento do relascôpio, possibilitando estimar os diâmetros nesta posição (BITTERLICH³).

VEIGA⁴ verificou que a utilização da fórmula original de Pressler proporcionava superestimativas no volume de *Eucalyptus*, recomendando que a constante adicional da altura formal fosse suprimida.

SILVA^{3 7}, ao testar a eficiência deste método na estima-

tiva do volume de *Pinus taeda*, verificou que havia uma tendência de superestimativa dos volumes, ocasionando um erro médio de 2,79%. GUIMARÃES & CASTRO¹⁴ verificaram tendências de superestimativa para os volumes do Pinheiro do Paraná (*Araucaria angustifolia*) e de subestimativa dos volumes de *Eucalyptus grandis*. Quanto a supressão da constante adicional da fórmula original, embora o erro médio tenha sido menor, houve um aumento da dispersão dos resíduos em relação ao volume real. Os mesmos autores criticaram a aplicabilidade prática do método, tendo como base a grande abertura do ângulo de visada exigida pelo aparelho para a medição da altura formal e a possível interferência da copa em sua determinação. Propuseram, então, dois novos métodos, denominados de método do diâmetro reduzido e método dos três pontos. Estes baseavam-se principalmente na redução do diâmetro para 3/4 ao invés de 1/2, conforme preconizado por Pressler. Suas precisões resultaram em, aproximadamente, quatro vezes superiores quando comparados com o método de Pressler na estimativa do volume de *Eucalyptus grandis* e *Araucaria angustifolia*. Neste caso, a principal limitação prática foi ocasionada pela necessidade do emprego de relascópios para a localização dos pontos acima do diâmetro ao nível do peito. Conforme SILVA & SCHNEIDER³⁸ estes aparelhos são caros e pouco disponíveis no Brasil.

PHILIP et alii²⁹, tendo como base o quociente de forma proposto por SCHIFFEL³², recomendaram a inclusão do diâmetro correspondente à metade da altura da árvore como terceira variável a ser incluída na elaboração de tabelas de volume para *Pinus patula* na Tanzânia, África. LA MARCA¹⁹, comparando métodos de cubagem do Abeto Branco (*Abies alba*) da floresta de Vallombrosa,

Itália, verificou que o citado processo fornecia superestimativa dos volumes com um erro médio de 3,02% e erros individuais que variavam entre -8,41% e 17,27. O mesmo autor criticou este método por causar erros na presença de anomalias (por exemplo, o engrossamento) no diâmetro medido na metade da altura da árvore. Esta crítica pode ser estendida a qualquer método que se baseia em um único diâmetro superior.

A necessidade de reduzir a altura da posição relativa para coleta de dados e facilitar a aplicação prática da cubagem indireta, tem conduzido a medições em posições inferiores no tronco.

POLLANSCHUTZ³⁰ propôs que a medição do diâmetro superior fosse efetuada na posição relativa a 30% da altura total, sendo o volume estimado em função de d , h e $d_{0,3h}$.

FORSLUND⁸, fazendo investigações sobre a posição em que se localizava o centro de gravidade em árvores da espécie *Populus tremuloides*, concluiu que o volume desta poderia ser obtido a partir apenas do diâmetro tomado a 30% da altura total, propondo o seguinte modelo:

$$V = 3/7 \cdot (1/1-K)^{4/3} \cdot d_k^2 \cdot h / 400$$

Onde V é o volume total, d_k o diâmetro a 30% da altura e K a altura relativa à posição do diâmetro medido. Nota-se, neste caso, que o autor agrupou o princípio de Pressler (altura relativa) e a medida de diâmetro recomendada por POLLANSCHUTZ³⁰. O autor chama a atenção para a necessidade da correta determinação do diâmetro na posição indicada em decorrência da grande sensibilidade do modelo. Isto equivale a dizer que anomalias, nesta posição, serão refletidas em erros na estimativa do volu-

me.

WAGNER⁴⁷, analisando a contribuição de diâmetros relativos para explicar o volume de *Araucaria angustifolia*, também, recomendou a utilização do modelo de POLLANSCHUTZ³⁰. Conforme seus resultados, a adição de novas variáveis não contribuíram significativamente para o aumento de precisão do modelo.

POYTANIEMI³¹ desenvolveu uma função de forma baseada nos elementos propostos por POLLANSCHUTZ³⁰ para estimar o volume total, cujos resultados permitiram indicá-la para a execução de inventários florestais regionais na Áustria. Constatou-se, neste caso, a viabilidade de se utilizar posições superiores no tronco para a determinação de funções de forma com aplicações mais amplas que aquelas baseadas em apenas duas variáveis independentes.

Quando a contribuição de mais de uma variável superior é analisada, a seleção destas posições tem-se baseado nas proposições de HOHENADL¹⁵ para o cálculo do volume, cuja estimativa é efetuada por:

$$V = \pi/4 \cdot 0,2h \cdot d_{0,1}^2 (\Sigma (d_i^2/d_{0,1}^2))$$

Onde d_i indica os diâmetros a cada 20% da altura total, iniciando em $d_{0,1}$ que corresponde a 90% da altura a partir do ápice.

A partir da análise destas posições é que POLLANSCHUTZ³⁰ recomendou a inclusão do diâmetro a 30% da altura como variável representativa da forma.

SILVA & SCHNEIDER³⁸, analisando os modelos propostos por Pollanschutz, submeteram os diâmetros referentes às posições relativas de Hohenadl ao processo seletivo FORWARD, concluindo

que o diâmetro a 50% da altura, deveria, também ser incluída no modelo para a estimativa do fator de forma artificial de *Pinus taeda* e, ainda, que a inclusão destas variáveis deveria ser na forma quadrática.

Verificou-se mais uma vez, que a inclusão de mais de uma variável em posição superior contribuía significativamente para explicar as variações de forma e, conseqüentemente, do volume. Os autores também ajustaram equações baseadas apenas no diâmetro ao nível do peito e altura total que permitiram efetuar a estimativa dos diâmetros nestas posições relativas com boa precisão. Neste caso, tal procedimento foi possível porque o trabalho foi desenvolvido sobre dados oriundos de um único povoamento. Estes resultados não poderiam ser aplicados para outros povoamentos sem antes serem testados, a fim de indicar a possibilidade de suas aplicações.

1.2. ESTIMATIVA DO VOLUME ATRAVÉS DE POSIÇÕES ABSOLUTAS

Neste tipo de cubagem, a seleção das variáveis superiores é tomada em termos absolutos, ao invés de posições dependentes de dimensões da árvore, conforme utilizado pelo método de posições relativas.

GIRARD¹² propôs que se utilizasse a relação existente entre o diâmetro sem casca a 17 pés (5,30 metros) e o diâmetro ao nível do peito para a estimativa do volume comercial. Este quociente tem sido bastante utilizado na prática e o principal fator que influenciou para a determinação desta posição superior foi o tamanho padronizado das toras nos Estados Unidos.

Para efeito de estimativa do volume total com casca, a medição do diâmetro superior poderia ser efetuada usando o di-

âmetro com casca.

MITSCHERLICH²³ sugeriu a utilização de razões entre os diâmetros superiores em posições absolutas ao nível do peito como quociente de forma.

SCHMID et alii³³, trabalhando com cerca de 35.000 árvores amostra, concluíram que quando a posição absoluta se situava acima de 5 metros, a contribuição desta nova variável para a explicação do volume se tornava maior que aquela devida à altura. Combinando praticidade de aplicação e exatidão das estimativas, estes autores optaram pela indicação do diâmetro a 7 metros da base como terceira variável a ser incluída nos modelos de estimativa dos volumes. Tabelas de volume regionais, ou seja, não influenciáveis por características do sítio foram indicadas e o modelo geral foi obtido por regressão múltipla que expressava o volume em função de d , d_7 e h , em formas logarítmicas. SCHMID-HASS & WINZELER³⁴ efetuaram uma comparação entre este método e o de posições relativas proposto por POLLANSCHUTZ³⁰, baseando-se na precisão das estimativas, tempo necessário para a cubagem e o custo de suas aplicações. Embora as precisões obtidas por ambos os métodos tenham sido semelhantes, a utilização da posição absoluta mostrou-se mais eficiente, em relação à facilidade de coleta dos dados. Esta característica mostrou-se mais evidente quando a medição do diâmetro superior podia ser feita utilizando a suta finlandesa, enquanto a posição relativa exigia o uso de instrumento ótico.

A utilização prática deste método de cubagem em inventários florestais foi primeiramente sugerida por SCHMID-HASS & WULLSCHLEGER³⁵ na planificação de um inventário florestal nacional para a Suíça.

SINGH⁴⁰, trabalhando com Sal (*Shorea robusta*) na Índia, também optou pela utilização de uma posição absoluta no tronco como terceira variável para incrementar a precisão da estimativa do volume desta espécie, em razão da grande dispersão dos resíduos verificados quando este era explicado por equações de volume baseadas apenas em d e h. Os resultados foram considerados excelentes quando o diâmetro superior era medido na altura de 5 metros. Neste trabalho foram incluídos apenas modelos lineares e a equação resultante para a estimativa do volume foi a seguinte:

$$V = 0,05616 + 0,41642.d^2h.\Psi(d_7) + 0,09808.d^2h$$

No modelo, $\Psi(d_7)$ é obtido pela razão $d_7^2h/d^2(h-5)$.

Verificou-se, neste caso, uma posição absoluta menor que a proposta por Schmid. Entretanto, esta posição foi incluída arbitrariamente, ou seja, nenhuma investigação foi realizada visando obter a posição ideal de medi-la.

VEIGA⁴⁵, comparando modelos de equações formais para *Eucalyptus saligna*, concluiu que para esta espécie a melhor equação seria aquela dada pelo modelo da variável combinada logarítmica formal:

$$\text{Log } V = b_0 + b_1.\text{Log}(Gd^2h)$$

Onde G é a razão $d_{5,3}/d$.

Na realidade, este modelo poderia ser expresso por:

$$\text{Log } V = b_0 + b_1.\text{Log}(d_{5,3}.d.h)$$

O autor não justificou o motivo por não ter incluído o diâmetro ao nível do peito quando o modelo incluía todas as variáveis em sua forma logarítmica e utilizou para comparação o mo-

delo:

$$\text{Log } V = b_0 + b_1 \cdot \text{Log } d_{5,3} + b_2 \cdot \text{Log } h$$

Assim, este modelo não poderia ser considerado como formal, uma vez que incluía apenas um diâmetro e uma altura para estimar o volume. Possivelmente os melhores resultados seriam obtidos se o modelo incluindo as três variáveis fosse testado.

Na comparação entre modelos formais e não formais, o autor concluiu que embora os primeiros fornecessem estimativas mais precisas, suas recomendações não se justificavam em razão da maior dificuldade de aplicação prática.

Isto evidencia que as variações de forma para uma mesma espécie e local tendem a ser homogêneas, motivo pelo qual as equações não formais, geralmente, apresentam bons resultados.

1.3 ESTIMATIVA DO VOLUME ATRAVÉS DE POSIÇÕES ARBITRÁRIAS

Neste método, a obtenção do volume é baseada no diâmetro ao nível do peito, altura e um ou mais diâmetros medidos em quaisquer posições visíveis do tronco, preferencialmente em posições que se observa tendências de variações na forma.

A maioria dos trabalhos neste sentido tem sido desenvolvidos por BITTERLICH⁴. Um de seus principais argumentos ao recomendar esta técnica foi que a medição de diâmetros em posições definidas no tronco, em muitos casos, torna-se uma operação demorada e difícil. No método denominado de Método dos 4 Pontos, pode-se inclusive suprimir a mensuração da altura caso sua determinação se constitua numa operação difícil. Conforme o autor, esta característica torna-se relevante quando os trabalhos são realizados em florestas tropicais onde a definição e visualização da altura total é difícil.

A utilização deste método dependerá de aparelhos óticos para a medição dos diâmetros superiores e uma grande habilidade do técnico em identificar as posições de coleta dos dados.

1.4. OUTROS MÉTODOS DE ESTIMATIVA DO VOLUME

Além dos métodos apresentados para estimar o volume de árvores em pé, outras tentativas tem sido feitas para atingir estes objetivos. É o caso da utilização do Wiant-f-c Wedge em que a forma do tronco é comparada visualmente com tipos de forma pré-estabelecidos (WIAANT^{4 8}).

Dada a impossibilidade do olho humano em focalizar simultaneamente dois objetos em distâncias diferentes, a difusão das imagens dificultará a identificação da forma quando as duas imagens foram sobrepostas. A variação de tipos de forma é outro fator que limitará bastante a precisão deste método.

Uma técnica que recentemente tem sido recomendada é a estimativa de diâmetros superiores através de fotografias terrestres (KIO¹⁷). Em estudos feitos por CROSBY et alii⁵ foi concluído que para uso prático deste método seria imprescindível a localização no tronco da posição em que o diâmetro deveria ser fotografado. Esta localização foi feita com uma vara de alumínio que permitia alcançar até a altura de 10 metros. Com este procedimento, tornou-se possível efetuar medidas precisas de diâmetros superiores sem a necessidade de medidas adicionais no campo e efetuar a ortogonalização das fotos. Como estas medidas somente poderiam ser feitas em diâmetros situados até 10 metros de altura, os autores recomendaram que para árvores com alturas maiores que 15 metros esta técnica deveria ser utilizada para fornecer de diâmetros superiores a serem incluídos em

equações de volume formais. Para a obtenção destes dados, recomendaram a utilização de câmaras de 35 mm equipadas com lentes de 200 mm e que a distância horizontal entre o objeto a ser fotografado (árvore) e a câmara fosse de 10 metros.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A elaboração de um modelo para estimativas volumétricas de utilização ampla só será possível se forem incluídos parâmetros que expressem os limites de variação possíveis para cada uma das variáveis envolvidas. Como isto é praticamente impossível de se definir, faz-se necessário reportar os limites de validade de suas aplicações. Neste caso, quanto maior for a variação no diâmetro, altura e forma das árvores, incluídas para a determinação da equação, maior poderá ser sua aplicação para explicar as variações de volume.

2.1. SELEÇÃO DA TÉCNICA DE ESTIMATIVA DO VOLUME

Optou-se pela investigação de posições absolutas no tronco pelos seguintes motivos:

- A utilização de posições arbitrárias depende de aparelhos óticos de medição e pessoal especializado. Para o caso de *Eucalyptus* spp, a medição da altura total constitui-se em operação mais fácil que a obtenção de dados referentes a diâmetros superiores.
- Para o caso específico do eucalipto, principalmente em plantações, sabe-se que a relação h/d tende a ser muito alta, significando que as árvores podem atingir grandes alturas. Como a primeira variável referente a diâmetros superiores tem sido a de 30% da altura para o caso de se utilizar posições relativas, torna-se evidente que, em muitos casos, será exigido o uso de aparelhos óticos para a utilização desta técnica. Con-

siderando que as posições são relativas, os erros referentes à medição da altura refletirão, diretamente, na determinação destas posições. Outro fator decisivo para a utilização de posições absolutas foi a possibilidade de obtenção dos dados com pessoal menos especializado.

2.2. INFORMAÇÕES SOBRE OS DADOS

Procurou-se utilizar dados que representassem aproximadamente as diferentes situações de plantios com eucalipto encontrados no Brasil. Os diferentes tipos de dados incluídos objetivando englobar os principais fatores responsáveis pelas variações da forma, foram determinados pela espécie, localidade, espaçamento e tipo de rotação.

2.2.1. Espécies

A maioria dos plantios com eucalipto no Brasil é efetuado com as espécies *E. grandis*, *E. saligna* e um híbrido de *E. urophylla* mais conhecido por "Alba híbrido de Rio Claro". As demais espécies incluídas no trabalho são plantadas em menor escala, entretanto em breve poderão ser mais utilizadas em função dos resultados apresentados pela pesquisa (MENDES et alii²¹; MOURA et alii²⁴). As inclusões foram julgadas importantes por apresentarem maiores variações na forma dos troncos. A Tabela 1 mostra as informações sobre as origens incluídas no trabalho.

Tabela 1 - PROCEDÊNCIA DAS ESPÉCIES DE *Eucalyptus*.

| POVOAMENTO | LOCAL | ESTADO | PAÍS |
|------------|--------------|------------|-----------|
| ALCF5132 | Rio Claro | São Paulo | Brasil |
| ALCF5222 | " | " | " |
| ALCF6132 | " | " | " |
| ALCF7222 | " | " | " |
| ALCF8122 | " | " | " |
| ALCF8222 | " | " | " |
| ALDN4222 | " | " | " |
| ALDN6222 | " | " | " |
| ALDN7132 | " | " | " |
| ALPA6131 | " | " | " |
| ALSF3222 | " | " | " |
| ALTM9131 | " | " | " |
| CAEX7132 | Petford | Queensland | Austrália |
| CIEX7132 | Rockhampton | " | " |
| CLEX7132 | Kennedy | " | " |
| CLMC5121 | Mtao Forest | - | Rodésia |
| GRCB4131 | - | - | " |
| GRCB5132 | - | - | " |
| GRCF7132 | Rio Claro | São Paulo | Brasil |
| GRDN4222 | " | " | " |
| GRDN5132 | " | " | " |
| GRDN5222 | " | " | " |
| GRDN7222 | " | " | " |
| GREX7132 | Atherton | Queensland | Austrália |
| GRMC2132 | Rio Claro | São Paulo | Brasil |
| GRMC5121 | " | " | " |
| GRPA5131 | " | " | " |
| GRSB4132 | - | - | Rodésia |
| GRSF6222 | Rio Claro | São Paulo | Brasil |
| MAEX7132 | Woolgoolga | N.S. Wales | Austrália |
| PEEX7132 | Helenvale | Queensland | " |
| PIEX7132 | Gallengowan | " | " |
| PREX7132 | Rockhampton | " | " |
| SACF7222 | Rio Claro | São Paulo | Brasil |
| SADN3222 | " | " | " |
| SASF6222 | " | " | " |
| TEEX7132 | Mackay Dist. | Queensland | Austrália |

2.2.2 Locais

Dadas as dimensões do país, seria extremamente difícil utilizar dados que cobrissem satisfatoriamente as diferentes regiões com reflorestamentos. Os dados são oriundos de regiões onde existem algumas das maiores áreas reflorestadas do país. Como o mais importante, neste caso seria cobrir diferen-

tes variações de sítio, os locais selecionados foram julgados suficientes por abrangerem áreas pouco produtivas como a região noroeste do Estado de Minas Gerais e o Vale do Jequitinhonha, áreas de média produtividade como as áreas da Região dos Cerrados e regiões de alta produtividade como as do Vale do Rio Doce e norte do Espírito Santo. Os locais selecionados se distribuem em 6 regiões ecológicas, conforme a classificação de GOLFARI et alii¹³.

A localização geográfica dos locais de coleta dos dados é apresentada na Figura 1.

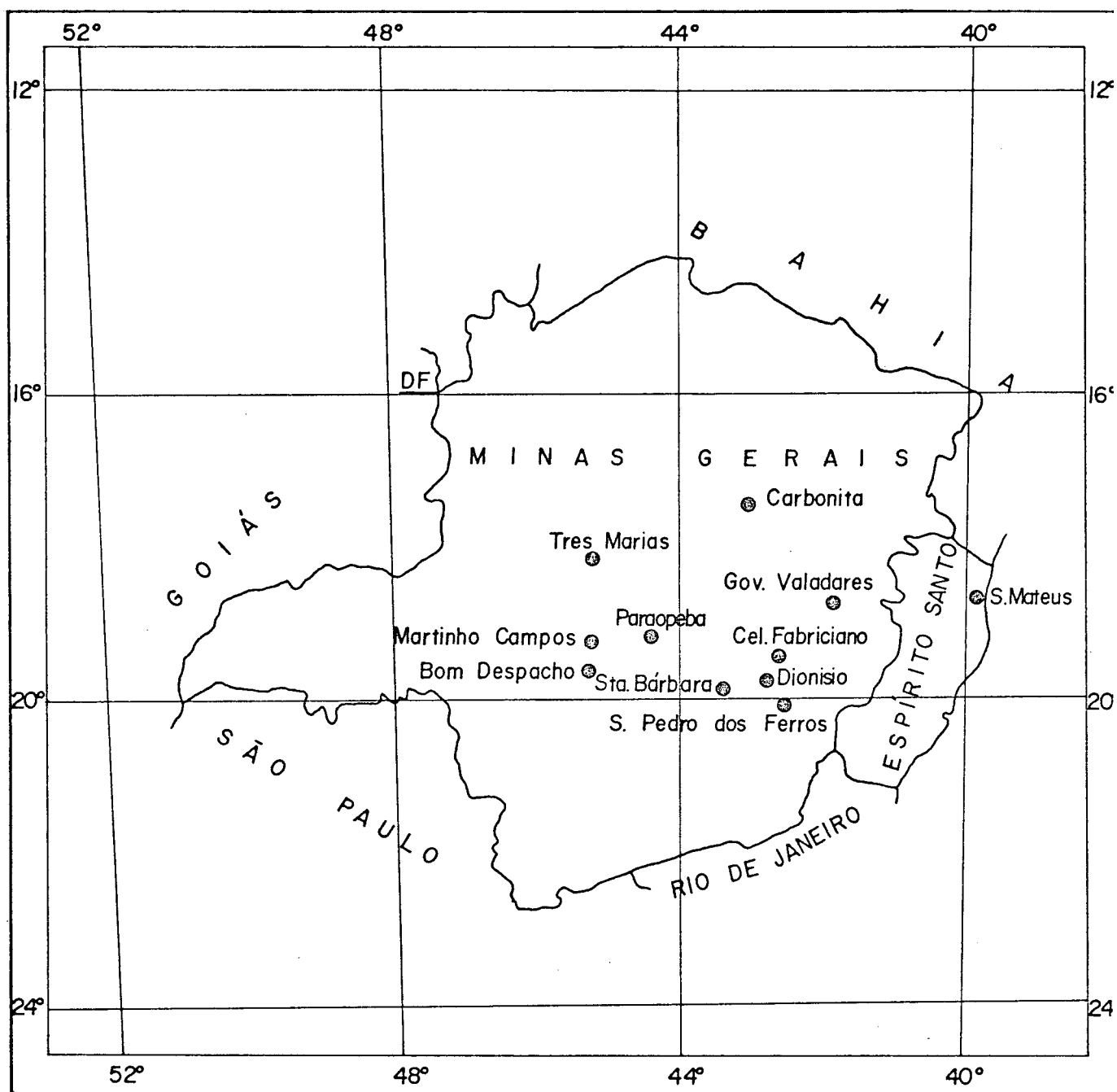
2.2.3 Idades

Para o eucalipto, geralmente, os cortes econômicos são realizados em idades compreendidas entre 4 e 6 anos. A inclusão de idades diferentes foi planejada para possibilitar que as possíveis interferências, causadas por este fator, sobre a forma pudessem ser melhor expressas.

2.2.4 Espaçamentos

Os espaçamentos referem-se aos mais utilizados para esta espécie no Brasil. Para as florestas que se destinam à produção de madeira como fontes de energia, existe uma tendência em diminuir os espaçamentos e alterar a distribuição espacial das plantas (PEREIRA²⁸). Os espaçamentos incluídos correspondem às lotações por unidade de área que variam de 1.666 a 4.000 plantas por hectare.

Figura 1 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DOS LOCAIS DE COLETA DE DADOS.



2.2.5 Rotações

Os povoamentos de eucalipto são classificados por rotação em função do regime de plantio. Como primeira rotação incluem aqueles originados de sementes e as demais rotações em

função do número de cortes efetuados a partir dos quais ocorrem a regeneração do povoamento através de brotações (regime de talhadia). Os dados utilizados referem-se a povoamentos sob regime de alto fuste e primeira talhadia, situação em que se encontra a maior parte dos reflorestamentos no país.

SILVA et alii³⁹ observaram influências desta característica ao analisar equações de volume para *E. saligna* na região de Santa Bárbara, Minas Gerais.

2.2.6 Dados de Campo

Para a determinação de modelos visando a estimativa indireta do volume, faz-se necessário primeiramente conhecer o volume real que servirá de base para definir seus ajustes e análise de eficiência.

No Brasil, praticamente, todos os trabalhos de cubagem direta são baseados na utilização da fórmula de SMALIAN em seções de 1 ou 2 metros de comprimento. As principais razões de utilização desta fórmula são advindas de sua facilidade computacional e da possibilidade de medição da espessura da casca nas próprias posições onde o tronco é cortado.

Pela fórmula de SMALIAN, o volume cubado em cada seção, é dado por:

$$V = \pi/8 (d_i^2 + d_{i+1}^2) \cdot L$$

Onde d_i e d_{i+1} são os diâmetros (em metros) nas extremidades das toras e L o seu comprimento.

Para o presente trabalho, onde o tronco foi dividido em seções de 1 metro, iniciando a 0,30 m da base, o volume total das toras, incluindo o cepo foi obtido por:

$$V = \pi/4 (0,8 d_{0,3}^2 + d_{1,3}^2 + \dots + d_n^2/2)$$

Onde d_n é a extremidade da última seção medida.

O volume do topo da árvore foi obtido pela fórmula do cone, sendo obtido pela seguinte fórmula:

$$V = \pi/12 d_n^2 \cdot L_p$$

Onde L_p é o comprimento entre a última seção medida e o topo da árvore.

Conforme relatório da FAO⁷, existe uma tendência desta fórmula em superestimar os volumes, enquanto para a fórmula de HUBER ocorre o inverso. SPAETH et alii⁴², comparando volumes fornecidos por diferentes fórmulas de cubagem e o volume obtido por imersão em líquidos, verificaram a existência de superestimativas que variavam em média entre 4 e 6%. Os maiores erros foram verificados quando se aplicava a fórmula de SMALIAN. Constatou-se, também, que os erros tendiam a diminuir em função do aumento do tamanho das toras.

PALM²⁵, analisando diferentes fórmulas de cubagem, concluiu que os erros sistemáticos seriam evitados se fossem adotados os seguintes procedimentos:

- a) utilizar a fórmula do cone truncado;
- b) efetuar medições em intervalos de 0,5 metros até a altura de 2 metros, em intervalos de 1 metro nas seções compreendidas entre 2 e 10 metros e em intervalos de 2 metros nas posições acima de 10 metros.

A medição dos dados poderia ser feita em termos de diâmetro ou circunferência. Embora a utilização da circunferência tenda a provocar superestimativas, optou-se por este tipo de medida, considerando que as tendenciosidades podem ser corrigidas, (SPURR⁴³), o que se torna impossível quando a medição é

feita em diâmetros. Outra vantagem de se medir a circunferência, segundo LOETSCH et alii²⁰, é o fato de se reduzir os erros de ordem instrumental. Como as espécies de *Eucalyptus* tendem a apresentar troncos circulares espera-se que os resultados sejam bastante semelhantes para os dois tipos de medidas.

A seleção das árvores incluídas no trabalho foi realizada de acordo com as instruções fornecidas por VOORHOEVE & BOWER⁴⁶. Quando a seleção era feita em áreas experimentais, evitou-se coletar dados nas árvores que faziam parte da bordadura das parcelas. A Tabela 2 mostra os dados referentes aos povoamentos utilizados para a estimativa do volume através de posições absolutas. Para fins práticos, cada povoamento foi codificado em função de dados referentes à espécie, local, idade, rotação e espaçamento.

Tabela 2 - DADOS REFERENTES AOS POVOAMENTOS UTILIZADOS PARA A
ESTIMATIVA DO VOLUME ATRAVÉS DE POSIÇÕES ABSOLUTAS.

| ESPÉCIE | LOCAL | ID. | ROT. | ESPAÇ. | Nº | CÓDIGO |
|-------------------------|---------------|-----|------|--------|----|----------|
| <i>E. alba</i> | C. Fabriciano | 5 | 1 | 3x2 | 40 | ALCF5132 |
| " | " | 5 | 2 | 2x2 | 30 | ALCF5222 |
| " | " | 6 | 1 | 3x2 | 35 | ALCF6132 |
| " | " | 7 | 2 | 2x2 | 40 | ALCF7222 |
| " | " | 8 | 1 | 2x2 | 45 | ALCF8122 |
| " | " | 8 | 2 | 2x2 | 45 | ALCF8222 |
| " | Dionísio | 4 | 2 | 2x2 | 20 | ALDN4222 |
| " | " | 6 | 2 | 2x2 | 30 | ALDN6222 |
| " | " | 7 | 1 | 3x2 | 49 | ALDN7132 |
| " | Paraopeba | 6 | 1 | 3.1 | 32 | ALPA6131 |
| " | S.P. Ferros | 3 | 2 | 2x2 | 20 | ALSF3222 |
| " | T. Marias | 9 | 1 | 3x1 | 32 | ALTM9131 |
| <i>E. camaldulensis</i> | Experimentos | 7 | 1 | 3x2 | 30 | CAEX7132 |
| <i>E. citriodora</i> | " | 7 | 1 | 3x2 | 54 | CIEX7132 |
| <i>E. cloeziana</i> | " | 7 | 1 | 3x2 | 45 | CLEX7132 |
| " | M. Campos | 5 | 1 | 2,5x1 | 41 | CLMC5121 |
| <i>E. grandis</i> | Carbonita | 4 | 1 | 3x1,5 | 61 | GRCB4131 |
| " | " | 5 | 1 | 3x2 | 79 | GRCB5132 |
| " | C. Fabriciano | 7 | 1 | 3x2 | 50 | GRCF7132 |
| " | Dionísio | 4 | 2 | 2x2 | 43 | GRDN4222 |
| " | " | 5 | 1 | 3x2 | 35 | GRDN5132 |
| " | " | 5 | 2 | 2x2 | 30 | GRDN5222 |
| " | " | 7 | 2 | 2x2 | 40 | GRDN7222 |
| " | Experimentos | 7 | 1 | 3x2 | 54 | GREX7132 |
| " | M. Campos | 2 | 1 | 3x2 | 48 | GRMC2132 |
| " | " | 5 | 1 | 2x1,5 | 40 | GRMC5121 |
| " | Paraopeba | 5 | 1 | 3x1 | 34 | GRPA5131 |
| " | S. Bárbara | 4 | 1 | 3x2 | 70 | GRSB4132 |
| " | S.P. Ferros | 6 | 2 | 2x2 | 35 | GRSF6222 |
| <i>E. maculata</i> | Experimentos | 7 | 1 | 3x2 | 53 | MAEX7132 |
| <i>E. pellita</i> | " | 7 | 1 | 3x2 | 54 | PEEX7132 |
| <i>E. pilularis</i> | " | 7 | 1 | 3x2 | 46 | PIEX7132 |
| <i>E. propinqua</i> | " | 7 | 1 | 3x2 | 45 | PREX7132 |
| <i>E. saligna</i> | C. Fabriciano | 7 | 2 | 2x2 | 40 | SACF7222 |
| " | Dionísio | 3 | 2 | 2x2 | 20 | SADN3222 |
| " | " | 8 | 1 | 2x2 | 50 | SADN8122 |
| " | S.P. Ferros | 6 | 2 | 2x2 | 35 | SASF6222 |
| <i>E. tereticornis</i> | Experimentos | 7 | 1 | 3x2 | 54 | TEEX7132 |
| TOTAL = 1.604 | | | | | | |

2.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

2.3.1 Ajuste de Modelos

Foram selecionados vinte povoamentos para obtenção de

dados e ajuste dos modelos destinados a estimar o volume. A ordem estabelecida para a seleção teve a seguinte prioridade: espécie, local, espaçamento, idade e rotação. Para cada espécie selecionada organizou-se dados em sequência crescente de volume dividida em três classes, sorteando-se três árvores para a classe menor, quatro na intermediária e três na maior classe de volume. Assim, tornou-se possível a inclusão de árvores cujas dimensões representavam a média e os limites de variação do volume para cada povoamento selecionado.

Este procedimento originou um conjunto de 200 árvores composto por dados oriundos de diferentes povoamentos, abrangendo diferentes dimensões volumétricas. As variáveis independentes cujas contribuições para explicar as variações de volume, foram analisadas tanto nas suas formas lineares quanto na forma logarítmica.

As variáveis incluídas na forma linear e suas formas de representação definidas para uso computacional foram as seguintes:

$$\begin{aligned} d_{0,3}^2 \cdot h &= D03H, \quad d^2 \cdot h = D13H, \quad d_{2,3}^2 \cdot h = D23H, \\ d_{3,3}^2 \cdot h &= D33H, \quad d_{4,3}^2 \cdot h = D43H, \quad d_{5,3}^2 \cdot h = D53H, \quad d_{6,3}^2 \cdot h = D63H, \\ d_{7,3}^2 \cdot h &= D73H, \quad V = VOL. \end{aligned}$$

Na forma logarítmica suas inclusões se deram por:

$$\begin{aligned} \ln(d_{0,3}) &= LD03, \quad \ln(d) = LD13, \quad \ln(d_{2,3}) = LD23, \quad \ln(d_{3,3}) = \\ &LD33, \quad \ln(d_{4,3}) = LD43, \quad \ln(d_{5,3}) = LD53, \quad \ln(d_{6,3}) = LD63, \\ \ln(d_{7,3}) &= LD73, \quad \ln(h) = LHT, \quad \ln(V) = LVOL. \end{aligned}$$

Considerou-se a utilização de posições até uma altura máxima de 7,30 metros, a fim de permitir a obtenção das variáveis

tanto por instrumentos óticos como através de medições diretas no tronco.

Para a determinação dos modelos submeteu-se estas variáveis ao processo seletivo FORWARD, devendo a variável fazer parte da equação se sua inclusão permitisse aumentos de precisão significativos ao nível de 5% de probabilidade, quando analisada pelo teste de "F".

Estas análises foram efetuadas com a subrotina FORWARD SELECTION PROCEDURE do programa SAS* - Edição 82, que utiliza como critério de seleção de variáveis a técnica do maior coeficiente de determinação (R^2). Assim, a primeira variável independente a entrar no modelo será aquela que apresentar maior correlação com a variável dependente (no caso o volume). As demais obedecerão a mesma técnica, sendo a seleção feita através dos possíveis combinações entre as variáveis.

Como as variáveis foram obtidas de medições em posições equidistantes, esperava-se encontrar uma tendência definida no grau de suas contribuições para a explicação do volume. Caso esta tendência fosse crescente positivamente, então, a estimativa do volume por posições absolutas seria considerada como inadequada para esta espécie, devendo ser substituída por modelos que utilizem posições relativas.

A contribuição individual das variáveis foi observada submetendo-se dados à subrotina PROC CORR do mesmo programa anterior, que fornece a matriz de correlação entre os dados. Caso a tendência revelasse uma variável em posição intermediária como a que melhor explicasse o volume passar-se-ia, então, a in-

*Statistical Analysis System. Versão 1982 do conjunto de subrotinas para análises estatísticas desenvolvidas pelo SAS Institute Inc. Raleigh, NC.

terferir no processo seletivo de modo que esta se tornasse a posição limite em termos de altura de medição dos diâmetros. Entretanto, se esta tendência se mostrasse constante, ou seja, todas as posições utilizadas apresentassem as mesmas contribuições para explicar o volume, então, o uso de diâmetros superiores seria considerado como pouco compensador para proporcionar aumentos na precisão dos modelos e os resultados seriam coerentes com as observações de KILKKI¹⁶.

2.3.2. Seleção dos Modelos

Uma vez definida a possibilidade de se utilizar as posições absolutas para estimar o volume passou-se a investigar qual o modelo deveria ser empregado.

Para a comparação entre modelos lineares e logarítmicos, considerou-se a análise da variância residual por classe de volume após a retro-transformação dos dados (anti-logaritmização) obtidos pelos modelos logarítmicos. Optou-se por esta forma de comparação baseando-se recomendações de KOZAK¹⁷. Definida a forma em que o modelo deveria ser expresso (linear ou logarítmica), efetuou-se as análises em relação ao número de variáveis a serem envolvidas e suas posições no tronco. Partindo-se da interpretação da distribuição dos erros e uma análise crítica da dificuldade de obtenção destas variáveis. Para uma maior consistência dos resultados, decidiu-se que os modelos deveriam ser comparados em relação a precisão de suas estimativas.

2.3.3. Aplicação dos Modelos

Mesmo que aparentemente o modelo selecionado se ajustasse muito bem aos dados que o originaram, poderiam ocorrer

tendenciosidades, quando este fosse aplicado para situações específicas. A explicação para este fato está na possível setorização dos dados quando observações referentes a diferentes povoamentos são agrupadas.

Normalmente os dados obtidos através de cubagem rigorosa são empregados na determinação de equações que serão utilizadas para a estimativa do volume do povoamento. Com este procedimento, os dados passam a ser transformados em componentes que irão definir a curva média estimada pela regressão. Assim, torna-se impreciso comparar os volumes reais e os estimados pelo modelo.

Resolveu-se então que estas comparações seriam mais apropriadas se feitas entre equações de volume. A cada conjunto de dados estariam então associados dois tipos de equação; um resultante da explicação do volume obtido pela cubagem rigorosa (denominado de volume real) em função das variáveis diâmetro ao nível do peito e altura total e outro em que a variável independente passava a ser o volume obtido pela solução do modelo (denominado de volume estimado).

Ao se determinar equações de volume para um certo conjunto de árvores, normalmente são testados diferentes modelos de regressão visando selecionar aquele de melhor ajustamento.

Como o objetivo do trabalho não é a determinação de equações de volume, optou-se apenas pela aplicação dos dois modelos mais utilizados para este propósito, o da variável combinada de SPURR⁴³:

$$V = b_0 + b_1 \cdot d^2 h$$

e o modelo logarítmico de SCHUMACHER & HALL³⁶:

$$\text{LnV} = b_0 + b_1 \cdot \text{Lnd} + b_2 \cdot \text{Lnh}$$

No modelo, Ln é o logarítmo Neperiano (base $e = 2,7183$).

Suas soluções se deram pelo método dos mínimos quadradados e os interceptos (b_0) forma sempre mantidos nos modelos mesmo havendo indicações que estes não contribuíam significativamente para a explicação do volume.

A seleção do melhor modelo teve como base a aplicação do Índice de FURNIVAL¹¹.

Para os modelos logarítmicos, estimou-se:

$$s_{yx}^{\%} = (e^{s_{yx}} - 1) \cdot 100$$

Para os modelos lineares:

$$s_{yx}^{\%} = s_{yx} \cdot 100/\mu$$

A correção da discrepância logarítmica para o modelo de Schumacher & Hall deveria ser feita através do Índice de Correção de MEYER²². Inicialmente, preferiu-se omiti-la pelos seguintes motivos:

- em termos percentuais, normalmente, é pequena;
- a correção para os modelos logarítmicos a serem comparados (oriundos de dados reais e estimados por posições absolutas) seria no mesmo sentido. Assim, as diferenças entre os volumes estimados pelos dois modelos tenderiam a se manter constantes;
- na prática, normalmente esta correção não é feita para os trabalhos realizados no Brasil, sendo sua aplicação feita quase que exclusivamente nos trabalhos de pesquisa;
- em função da análise dos resultados, poderá ser definido se sua inclusão seria ou não necessária.

Em função do exposto, e, principalmente devido ao número de dados utilizados de cada povoamento (v. tabela 2), não se pode indicar as equações resultantes para estimar o volume dos povoamentos. Por outro lado, em consonância com os objetivos do trabalho, estas condições influirão de modo a exigir uma maior capacidade explicativa do modelo determinado para estimar o volume quando as comparações entre as equações foram efetuadas. Isto ocorre porque quando o número de dados é pequeno, a presença de árvores com forma discrepante da média do conjunto de dados (outliers) exercerá grande influência nos coeficientes do modelo que estiver sendo ajustado ao conjunto.

2.3.4. Comparação das Equações

Do ajustamento dos modelos volumétricos aos dados reais e estimados, poderão ocorrer três situações distintas, ou seja, ambos os modelos selecionados serem da forma linear, ambos da forma logarítmica ou um na forma linear e o outro na forma logarítmica. No caso de ambos os modelos serem lineares, ou seja, serem melhores ajustados pela equação da variável combinada, decidiu-se que suas comparações deveriam ser feitas pela análise de covariância.

Conforme descrito por SNEDECOR⁴¹, esta análise permite testar dentro de um certo limite de precisão se os coeficientes de inclinação (b_1) são paralelos e se os interceptos das equações (b_0) são coincidentes. Nesta análise, os níveis de significância dos resultados são determinados pelo teste de F. Caso os valores de F não sejam significantes quando comparados com os valores tabelados, então assume-se que as equações não diferem e que os dados poderiam ser agrupados para gerar uma ú-

nica equação.

Na comparação entre equações de volume, normalmente os valores de F tabelados ao nível de 5% são usados como limite de aceitação dos resultados. Neste trabalho, a interpretação dos resultados foi a seguinte: se os valores de F não fossem significativos, então, a estimativa indireta do volume em termos de precisão equivaleria à obtida por cubagem rigorosa para o propósito de se determinar equações volumétricas.

Entretanto, em função da própria capacidade explicativa do modelo de SCHUMACHER & HALL³⁵, espera-se que, na maioria dos casos, este pudesse suplantar o da variável combinada, quando a seleção do modelo fosse efetuada. Embora modelos múltiplos possam também ser comparados pela análise de covariância (FREESE¹⁰), raramente é empregado em razão da maior complexidade das análises. Caso os modelos a serem comparados fossem de naturezas diferentes, a comparação entre as equações resultantes não poderá ser efetuada.

A consideração dos volumes fornecidos pelos modelos reais e estimados como observações e o posterior ajustamento destes à equações lineares para estimar o volume cubado rigorosamente, seguido da análise de covariância seria uma técnica válida para contornar estas situações e verificar se as capacidades explicativas dos modelos são semelhantes ou não. Isto porque uma vez ajustados por este tipo de equação, tanto os valores das médias, quanto das somas dos quadrados dos resíduos, não sofrerão qualquer alteração. Deve-se ressaltar que, neste caso, não estarão sendo comparados os modelos diretamente e sim suas capacidades explicativas do volume. Estas equações seriam

da forma:

$$V = b_0 + b_1 \cdot V_r \quad \text{e} \quad V = b_0 + b_1 \cdot V_x$$

Onde V é o volume obtido por cubagem rigorosa, V_r o volume estimado pela equação originada dos volumes cubados e V_s o volume estimado pela equação originada dos volumes obtidos da estimativa através de posições absolutas no tronco.

SILVA et alii³⁹ optaram por dividir os dados de volume em classes de diâmetro e considerá-los como tratamentos. Através de um delineamento de blocos ao acaso, puderam comparar diferentes equações de volume, analisando seus efeitos na estimativa destes tratamentos.

Em alguns casos, as comparações entre diferentes equações são feitas através da análise dos resíduos.

Conforme DRAPER & SMITH⁶, a melhor técnica, neste caso, seria a interpretação dos resultados através da plotagem gráfica e análises dos resíduos, como por exemplo, a análise da Probabilidade Associada através dos arranjos de sequência dos sinais. Neste caso, a distribuição dos resíduos é associada em termos de probabilidade de ocorrência à distribuição normal Z .

Neste trabalho, interessou-se saber se os volumes estimados pela equação oriunda de dados obtidos por posições absolutas distribuíam-se aleatoriamente, em relação aos volumes cubados rigorosamente.

Para a aplicação deste teste, foi necessário parear as observações e organizá-las em sequência (no caso sequência crescente de volume). Por subtração, obteve-se os resíduos que passaram a ser interpretados como:

N_1 = número de resíduos com sinais positivos;

N_2 = número de resíduos com sinais negativos;

u = número de vezes na ordem de sequência em que os resíduos trocam de sinais.

A partir destas informações, a média da distribuição foi dada por:

$$\mu = \frac{2N_1N_2}{N_1+N_2} + 1$$

Para a variância, tem-se:

$$\delta^2 = \frac{2N_1N_2(2N_1N_2 - N_1 - N_2)}{(N_1+N_2)^2(N_1 + N_2 - 1)}$$

A transformação da distribuição para a função de distribuição normal, foi feita pela seguinte medida:

$$Z = \frac{(u - \mu + 1/2)}{\delta}$$

O termo $1/2$ funciona como correção de continuidade pelo fato de uma distribuição discreta estar sendo aproximada a uma contínua.

O valor de Z encontrado foi então comparado ao valor tabelado da distribuição normal para verificação de sua probabilidade bilateral em exceder os valores correspondentes aos limites da distribuição.

Em relação à análise de resíduos, outra técnica tem sido aplicada principalmente por PAULA NETO et alii^{26 27}, ou seja, a interpretação do teste do Qui-Quadrado proposto por FREESE⁹. Neste teste, o valor a ser comparado com a distribuição do Qui-Quadrado é dado por:

$$\chi^2 = \frac{196^2}{Q^2} \cdot \sum_{i=1}^n (d_i/\mu)^2$$

Onde, Q^2 é o nível de precisão requerida (em %),
 d_i/μ é o erro entre os valores observados e estimados.

Para a determinação da precisão com que os valores observados (volume real) estão sendo estimados basta alterar a fórmula para:

$$Q^2 = \frac{196^2}{\chi^2} \cdot \sum_{i=1}^n (d_i/\mu)^2$$

Neste caso, o valor do χ^2 corresponderá a seu valor tabelado.

A análise do teste proposto por FREESE¹⁰, conduz à seguinte interpretação: quanto maior for a dispersão dos dados em torno da linha média de regressão, maior será a soma dos quadrados dos erros e, portanto, menor será a precisão da estimativa.

Em função das variações de forma dos troncos, a dispersão dos dados tenderá a ser diferente de um povoamento para outro. Assim, a utilização do teste do Qui-Quadrado fornecerá informações sobre a precisão da estimativa, porém não poderá ser utilizado como critério para decidir quanto à aplicabilidade dos modelos.

Por outro lado, a aplicação do teste para a equação originada dos volumes reais, então poderá fornecer informações sobre a capacidade explicativa da equação a ser aplicada aos dados independentes de suas dispersões.

Com este procedimento, tem-se:

$$Q_s^2/Q_r^2 = \frac{196^2}{\chi^2} \cdot \sum_{i=1}^n (d_{is}/\mu)^2 / \frac{196^2}{\chi^2} \cdot \sum_{i=1}^n (d_{ir}/\mu)^2$$

Onde os índices s,r indicam, respectivamente, a aplicação das equações oriundas de dados referentes à estimativa indireta e a equação determinada pelos próprios dados que estão servindo para comparação.

Denominando a razão Q_s^2/Q_r^2 de Eficiência Relativa (ER) e simplificando as fórmulas, tem-se:

$$ER = \frac{\sum_{i=1}^n (d_{is}/\mu)^2}{\sum_{i=1}^n (d_{ir}/\mu)^2}$$

Em relação ao emprego da média (μ) no modelo, nota-se que esta faz com que as diferenças sejam proporcionais e portanto contribuam no modelo de forma independente. Considerando-se que quanto maior for o volume da árvore maior será sua contribuição individual para o volume do povoamento, resolveu-se suprimir a média do modelo.

Analisando a eficiência relativa em termos percentuais de erro, foi possível estabelecer a seguinte fórmula:

$$ER\% = 100 - 10 \left(\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_{is})^2}{\sum_{i=1}^n (d_{ir})^2} - 1} \right)$$

Para a comparação de equações de volume em povoamentos florestais, pode-se considerar que estas não diferem entre si, quando os resultados referentes à eficiência relativa forem iguais ou maiores que 95%. Para a comparação entre modelos obtidos a partir de dados referentes a cubagem rigorosa e os obtidos através de estimativa indireta, resolveu-se que os seguintes testes deveriam ser empregados:

- Teste do paralelismo e coincidência (covariância);
- Análise da Probabilidade Associada (Teste Z);
- Análise da Eficiência Relativa.

Utilizando-se a plotagem gráfica, procurou-se investi-

gar qual(is) o(s) teste(s) seriam apropriados para decidir sobre a aplicação de equações em dados diferentes dos que as originaram. Julgou-se necessário efetuar a análise gráfica para garantir uma melhor interpretação dos resultados, uma vez que se esperava diferentes níveis de sensibilidade em função do tipo de teste aplicado. Para ampliar o limite de aplicação do modelo selecionado, utilizou-se a proporção de casca por espécie, cujos resultados são apresentados no anexo 1.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 VARIAÇÕES DOS DADOS

Os limites de variação dos 200 dados selecionados para as investigações sobre as posições no tronco em que os diâmetros deveriam ser medidos são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 - LIMITE DE VARIAÇÃO DOS DADOS

| VARIÁVEL | N | MÉDIA | DESVIO PADRÃO | MÍNIMO | MÁXIMO |
|----------|-----|----------|------------------|---------|----------|
| C03 | 200 | 0.58736 | 0.211735 | 0.18000 | 1.24000 |
| C13 | 200 | 0.50688 | 0.184909 | 0.15000 | 1.02000 |
| C23 | 200 | 0.47554 | 0.181942 | 0.14000 | 1.05000 |
| C33 | 200 | 0.45163 | 0.175971 | 0.13000 | 0.99000 |
| C43 | 200 | 0.43264 | 0.171879 | 0.12000 | 0.94000 |
| C53 | 200 | 0.41346 | 0.169462 | 0.10000 | 0.94000 |
| C63 | 200 | 0.39597 | 0.167713 | 0.09000 | 0.88500 |
| C73 | 200 | 0.37830 | 0.168546 | 0.08000 | 0.87000 |
| VOL | 200 | 0.24046 | 0.207530 | 0.00985 | 1.18294 |
| HT | 200 | 20.28350 | 5.549510 | 8.80000 | 34.80000 |

As observações referentes aos limites máximos de diâmetro, altura e volume dificilmente serão superadas, quando comparadas com as dimensões normalmente atingidas por esta espécie em reflorestamentos, considerando-se as idades em que são programados os cortes. Os limites mínimos foram determinados pela altura de cubagem. Deste modo, árvores com circunferências

menores que 5 cm, na altura de 7,30 metros, não puderam ser incluídas no trabalho.

Com relação às variações da forma, tornou-se difícil interpretar seus limites, uma vez que estas medidas estão expressas pelo fator forma artificial e, portanto, variáveis em função da altura. Entretanto, pelo limite mínimo observado ($f = 0,2930$), pode-se inferir que foram incluídas grandes variações de forma.

3.2. DETERMINAÇÃO DOS MODELOS

A matriz resultante da correlação entre as variáveis selecionadas é apresentada na Tabela 4.

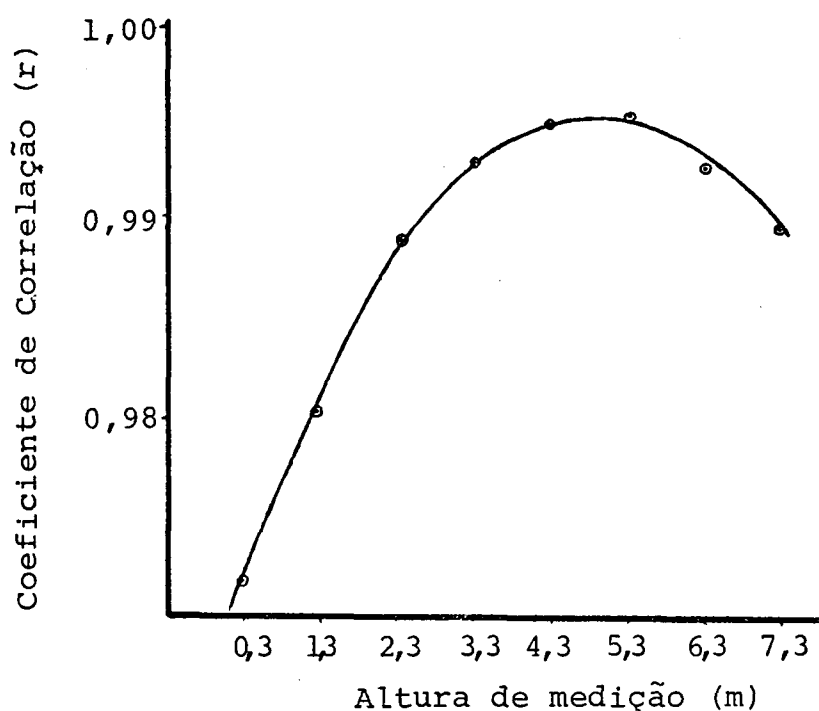
Em relação às posições de medição dos diâmetros, notou-se que quanto mais próximas foram as distâncias, maiores serão as correlações entre os diâmetros. Isto significa que as posições muito próximas tenderão a apresentar, praticamente, a mesma contribuição para o modelo, que aquela obtida pela posição intermediária a estas.

Tabela 4 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS ANALISADAS.

| | LC03 | LC13 | LC23 | LC33 | LC43 | LC53 | LC63 | LC73 | LHT | LVOL |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| LC03 | 1.00000 | 0.98571 | 0.98211 | 0.97802 | 0.97315 | 0.96949 | 0.95839 | 0.95259 | 0.87779 | 0.97186 |
| LC13 | | 1.00000 | 0.99146 | 0.98565 | 0.98073 | 0.97675 | 0.96600 | 0.96147 | 0.89269 | 0.98001 |
| LC23 | | | 1.00000 | 0.99599 | 0.99213 | 0.98973 | 0.97901 | 0.97317 | 0.90748 | 0.98970 |
| LC33 | | | | 1.00000 | 0.99623 | 0.99439 | 0.98620 | 0.98099 | 0.91495 | 0.99334 |
| LC43 | | | | | 1.00000 | 0.99660 | 0.98917 | 0.98501 | 0.92310 | 0.99467 |
| LC53 | | | | | | 1.00000 | 0.99363 | 0.98965 | 0.92911 | 0.99595 |
| LC63 | | | | | | | 1.00000 | 0.99496 | 0.93527 | 0.99267 |
| LC73 | | | | | | | | 1.00000 | 0.94289 | 0.99086 |
| LHT | | | | | | | | | 1.00000 | 0.94365 |

Outro aspecto destas correlações refere-se à capacidade explicativa destas posições em relação à variável dependente (volume). Uma melhor visualização destas capacidades explicativas foi obtida pela plotagem dos Coeficientes de Correlação (Figura 2), evidenciando que o diâmetro medido a 5,30 metros foi o mais correlacionado com o volume.

Figura 2 - INFLUENCIA DA ALTURA DE MEDIÇÃO DO DIÂMETRO NA DETERMINAÇÃO DO VOLUME TOTAL.



Considerando-se que estas comparações envolveram posições absolutas, dever-se-ia esperar mudanças nestes resultados, caso as dimensões das árvores envolvidas fossem diferentes. Entretanto, como as dimensões envolvidas foram consideradas como representativas das diferentes condições de plantio com esta espécie no Brasil, o diâmetro medido a 5,30 metros pode ser considerado como o mais explicativo do volume, independente das características do povoamento. Conhecidas as tendências de correlação en-

tre os diâmetros nas diferentes posições do tronco e o volume, certificou-se de que posições até a altura limite de 7,30 metros foram suficientes para permitir o ajustamento de modelos aos dados.

Ocorrendo intercorrelação entre as variáveis independentes, causada pela proximidade de medição, não se poderia admitir que as mais correlacionadas com o volume fossem as que deveriam fazer parte dos modelos, daí a necessidade do emprego de um processo seletivo para as variáveis.

Ao aplicar o método do FORWARD para seleção das variáveis em suas formas lineares (Tabela 5), constatou-se que, para todos os modelos, o valor do intercepto (b_0) excedia o volume de grande parte das árvores pequenas. Ocorreu também que todas as variáveis selecionadas contribuíam positivamente para explicar o volume. Deste modo, tornou-se claro que estava ocorrendo superestimativa dos volumes de árvores com pequenas dimensões.

Tabela 5 - RESULTADOS REFERENTES À APLICAÇÃO DO PROCESSO SELETIVO FORWARD (INCLUINDO TODAS AS VARIÁVEIS) PARA UM NÍVEL CRÍTICO DE $F = 0,05$ - VARIÁVEIS NA FORMA LINEAR.

| PASSO | MODELO SELECIONADO | | PARÂMETROS DE PRECISÃO | | |
|-------|--------------------|---------------------|------------------------|--------|-------------|
| | INTERCEPTO | VARIÁVEIS INCLUIDAS | COEFICIENTE DE AJUSTE | R^2 | I. FURNIVAL |
| 1 | 0,03038 | C53H | 0,04391 | 0,9866 | 12,74 |
| 2 | 0,02450 | C13H | 0,00888 | 0,9885 | 11,83 |
| | | C53H | 0,03243 | | |
| 3 | 0,02691 | C13H | 0,00877 | 0,9893 | 11,42 |
| | | C53H | 0,01973 | | |
| | | C73H | 0,01422 | | |

Após submeter as variáveis em suas formas logarítmicas ao mesmo tipo de análise e comparar os modelos obtidos com os lineares através do Índice de Furnival, constatou-se a importância desta transformação na melhoria dos resultados.

Na Tabela 6 são fornecidas as equações logarítmicas obtidas pelo processo seletivo FORWARD.

Analisando a entrada de variáveis nos modelos, verificou-se que após a entrada do diâmetro a 1,30 metros, a nova variável de entrada passava a se situar em posições acima da que foi mais correlacionada com o volume (5,30 metros). Embora também contribuindo significativamente para explicar o volume, em termos práticos, a adição desta nova variável seria fator de dificuldade na coleta dos dados. Também o fato de ter sido $d_{7,3}$ a última variável selecionada, indicava ser esta a que menos con-

tribuiu no modelo para a explicação do volume.

Tabela 6 - RESULTADOS REFERENTES À APLICAÇÃO DO PROCESSO SELETIVO FORWARD (INCLUINDO TODAS AS VARIÁVEIS) PARA UM NÍVEL CRÍTICO DE $F = 0,05$ - VARIÁVEIS NA FORMA LOGARÍTMICA.

| PASSO | MODELO SELECIONADO | | | PARÂMETROS DE PRECISÃO | |
|-------|--------------------|---------------------|-----------------------|------------------------|-------------|
| | INTERCEPTO | VARIÁVEIS INCLUIDAS | COEFICIENTE DE AJUSTE | R^2 | I. FURNIVAL |
| 1 | 0,31901 | LC53 | 2,21662 | 0,9919 | 9,58 |
| 2 | -1,32956 | LC53 | 1,93991 | 0,9944 | 7,95 |
| | | LHT | 0,46407 | | |
| 3 | -1,65314 | LC13 | 0,52259 | 0,9963 | 6,44 |
| | | LC53 | 1,44273 | | |
| | | LHT | 0,54200 | | |
| 4 | -1,32931 | LC13 | 0,54659 | 0,9967 | 6,07 |
| | | LC53 | 1,12375 | | |
| | | LC73 | 0,31815 | | |
| | | LHT | 0,45058 | | |

Assim, decidiu-se que as posições acima de 5,30 metros não deveriam fazer parte dos modelos.

É sabido que a porção basal dos troncos corresponde à região em que tendem a ocorrer as maiores variações de forma, principalmente quando diferentes espécies são comparadas. Os resultados indicando ser $d_{0,3}$ a variável de menor correlação com o volume total evidenciam esta característica. Isto porque os

dados são oriundos de diferentes espécies. Portanto, a inclusão desta variável nos modelos poderia ser importante no sentido de expressar as variações basais e assim permitir a estes uma maior amplitude de aplicação.

Uma vez selecionada a variável d , em razão da intercorrelação existente, não se tornava possível a inclusão de variáveis localizadas próximas a esta posição. Logicamente, a entrada do diâmetro a 1,30 metros ocorreu em razão de sua presença no modelo contribuir mais (em termos individuais) que as demais variáveis não selecionadas. Isto quer dizer, também, que parte das variações basais são explicadas por esta variável. Entretanto, poderia ocorrer que a associação de variáveis suplantasse a contribuição que esta representa na precisão do modelo.

Decidiu-se, então, suprimir a variável referente ao diâmetro a 1,30 metros e submeter as demais variáveis novamente ao processo seletivo. Este procedimento permitiu a entrada dos diâmetros referentes às alturas de 0,30 e 3,30 metros antes da inclusão de variáveis situadas em posições acima de 5,30 metros.

Na Tabela 7 são fornecidas as equações obtidas pelo método FORWARD após a exclusão da variável referente ao diâmetro medido a 1,30 metros.

Tabela 7 - RESULTADOS REFERENTES À APLICAÇÃO DO PROCESSO SELETIVO FORWARD (EXCLUINDO O DIÂMETRO A 1,30 METROS) PARA UM NÍVEL CRÍTICO DE $F = 0,05$ - VARIÁVEIS NA FORMA LOGARÍTMICA.

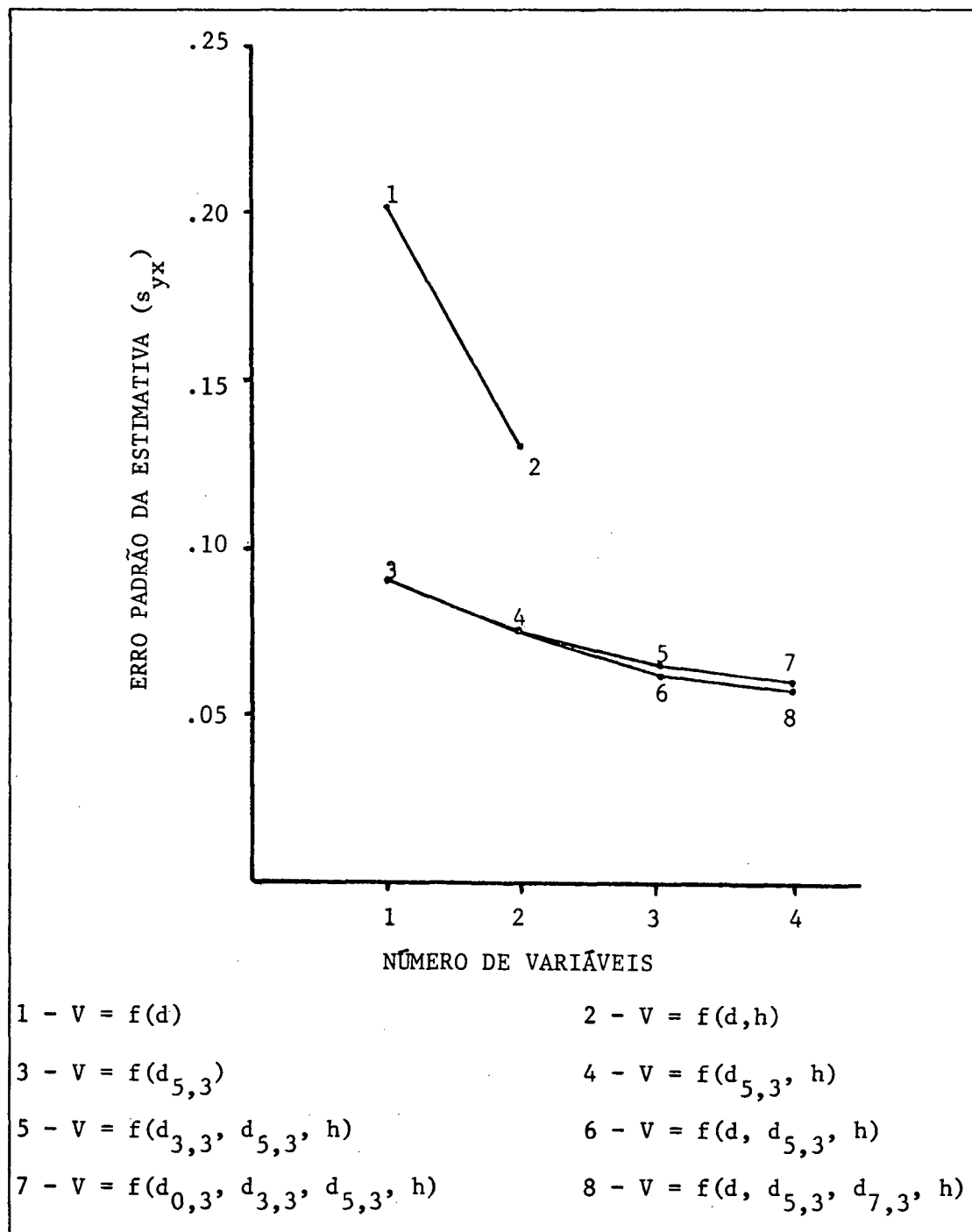
| PASSO | MODELO SELECIONADO | | PARÂMETROS DE PRECISÃO | | |
|-------|--------------------|---------------------|------------------------|--------|-------------|
| | INTERCEPTO | VARIÁVEIS INCLUÍDAS | COEFICIENTE DE AJUSTE | R^2 | I. FURNIVAL |
| 1 | 0,31901 | LC53 | 2,21662 | 0,9919 | 9,58 |
| 2 | -1,32956 | LC53 | 1,93991 | 0,9944 | 7,95 |
| | | LHT | 0,46407 | | |
| 3 | -1,68128 | LC33 | 0,92864 | 0,9960 | 6,67 |
| | | LC53 | 1,01607 | | |
| | | LHT | 0,55340 | | |
| 4 | -1,84842 | LC03 | 0,28109 | 0,9964 | 6,26 |
| | | LC33 | 0,63019 | | |
| | | LC53 | 1,04358 | | |
| | | LHT | 0,58736 | | |

Verificou-se, também, os ganhos de precisão dos modelos em relação à inclusão de diâmetros em posições diferentes daquelas tradicionalmente utilizadas em trabalhos florestais. Procedeu-se, então, o ajuste de equações baseadas nas variáveis "d" e, também "d" e "h", o que corresponderia à utilização de um modelo de equação de volume local ($\ln V = b_0 + b_1 \cdot \ln d$) e de uma equação de volume regional ($\ln V = b_0 + b_1 \cdot \ln d + b_2 \cdot \ln h$) aplicadas a dados oriundos de diferentes povoamentos.

Em função das tendências de alterações do erro padrão

da estimativa (s_{yx}), mostradas na Figura 3, pode-se notar as contribuições dos diferentes modelos para explicar as variações de volume.

Figura 3 - INFLUÊNCIA DO NÚMERO DE VARIÁVEIS E SUAS LOCALIZAÇÕES NO TRONCO EM RELAÇÃO À PRECISÃO DE ESTIMATIVA DOS MODELOS.



Nota-se que o modelo $V = f(d_{0,3}, d_{3,3}, d_{5,3}, h)$ estima os volumes com uma precisão próxima da obtida pelo modelo $V = f(d, d_{5,3}, d_{7,3}, h)$. Evidencia-se, também a importância de se utilizar a posição de 5,30 metros, cuja inclusão nos modelos contribuiu mais para explicar o volume que a associação das variáveis d e h .

Definida como altura máxima de medição do diâmetro superior como 5,30 metros da base, considerou-se como mais eficientes para explicar o volume os seguintes modelos:

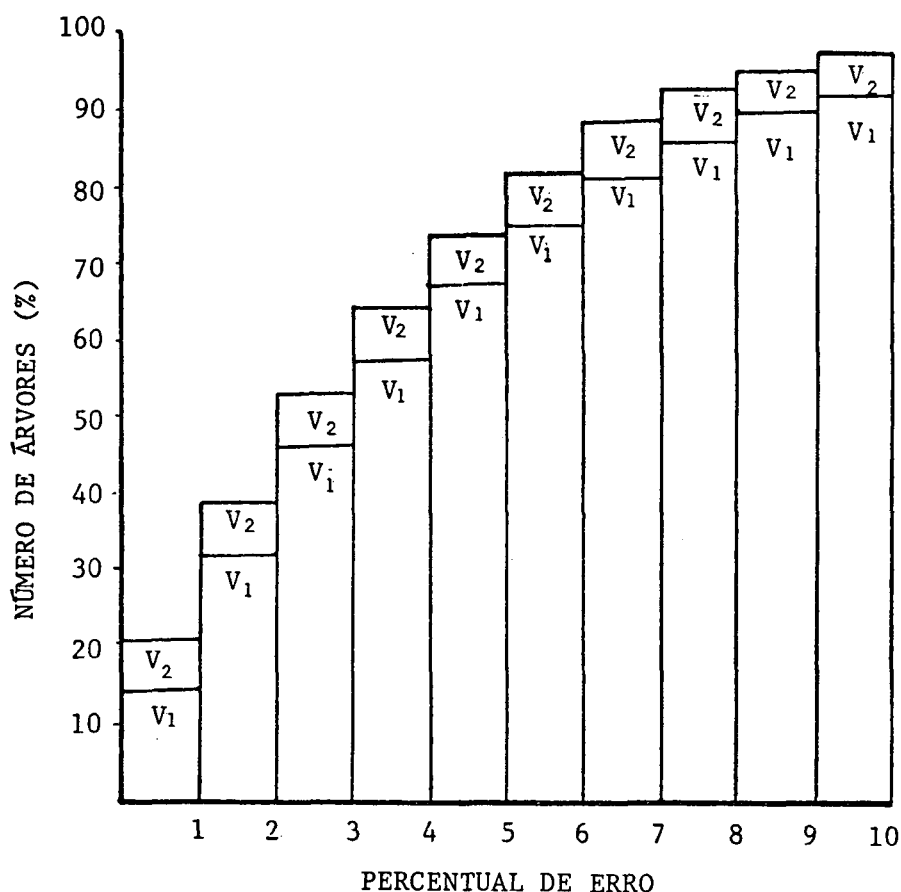
$$V = f(d, d_{5,3}, h) \quad \text{e} \quad V = f(d_{0,3}, d_{3,3}, d_{5,3}, h)$$

Restava, então, determinar se a substituição de " d " por $d_{0,3}$ e $d_{3,3}$ proporcionava ganhos em precisão que justificassem este procedimento, uma vez que as dificuldades para a obtenção destas variáveis são diferentes.

Para uma avaliação de suas capacidades explicativas, procedeu-se a estimativa do volume de todas as 1604 árvores utilizadas no trabalho pela aplicação de ambos os modelos e a determinação dos erros individuais em relação ao volume cubado pela fórmula de Smalian. A seguir, os erros verificados foram agrupados em intervalos de 1% e computado o percentual cumulativo de árvores dentro dos limites estabelecidos pelos intervalos. Estes resultados foram mostrados na Figura 4.

Sua interpretação mostrou que para um mesmo intervalo, o modelo $V_2 = f(d_{0,3}, d_{3,3}, d_{5,3}, h)$ estimava pelo menos 5% de árvores a mais que o modelo $V_1 = f(d, d_{5,3}, h)$. Isto significou que para um limite de precisão pré-estabelecido as tendências se manteriam.

Figura 4 - PERCENTUAIS CUMULATIVOS DE ERRO OBTIDOS PELA ESTI-
MATIVA DO VOLUME ATRAVÉS DOS MODELOS $V_1 = f(d, d_{5,3}, h)$
E $V_2 = f(d_{0,3}, d_{3,3}, d_{5,3}, h)$.



Estabeleceu-se que, mesmo em função do aumento das dificuldades em coletar os dados, devido a inclusão do diâmetro a 3,30 metros, a melhor equação para estimar o volume, a partir de posições absolutas no tronco, seria:

$$\ln V = b_0 + b_1 \cdot \ln d_{0,3} + b_2 \cdot \ln d_{3,3} + b_3 \cdot \ln d_{5,3} + b_4 \cdot \ln h$$

Cujos coeficientes de resolução foram os seguintes:

$$b_0 = 0,38937$$

$$b_1 = 0,28109$$

$$b_2 = 0,63019$$

$$b_3 = 1,04358$$

$$b_4 = 0,58736$$

Se as variáveis fossem medidas em forma de circunferência, ao invés de diâmetros, bastaria substituir o valor do intercepto (b_0) por -1,84842.

A adição de apenas um diâmetro superior fez com que as anomalias refletissem diretamente em erros na estimativa do volume, conforme já observado por FORSLUND⁸. Quando mais de uma variável superior a 1,30 metros era incluída, havia uma redução na dispersão dos erros. Esta característica foi também evidenciada nos resultados mostrados na Figura 4. Neste caso, a variável $d_{0,3}$ expressava as variações na base e a variável $d_{3,3}$ agia de modo a compensar possíveis anomalias na posição de 5,30 metros.

3.3. AJUSTE E SELEÇÃO DE EQUAÇÕES DE VOLUME

Resolveu-se testar a aplicabilidade do modelo selecionado na obtenção do volume de árvores utilizadas para a determinação de equações de volume de dupla-entrada, ou seja, baseadas apenas em d e h . Neste caso, o modelo formal passaria a estimar volumes com a finalidade de substituir aqueles cuja obtenção depende do abate das árvores.

Os procedimentos adotados foram:

- a) determinar equações de volume para cada povoamento; neste caso, a variável dependente referia-se ao volume cubado pela fórmula de Smalian após a árvore ser abatida;
- b) determinar as equações de modo que o volume cubado rigorosamente fosse substituído por aquele estimado pelo modelo formal.

Na Tabela 8 são fornecidos os índices de Furnival utilizados para selecionar a equação de dupla-entrada a ser ajustada para cada povoamento.

Conforme previsto, para a maioria dos povoamentos a modelo logarítmico de SCHUMACHER E HALL³⁶ foi selecionado por fornecer estimativas mais precisas que o da variável combinada de SPURR⁴³. Também o método empregado para a obtenção do volume (cubagem rigorosa ou uso do modelo formal), em alguns casos, afetou a seleção da equação de volume.

Na Tabela 9 são apresentadas as equações de volume cuja variável dependente foi o volume obtido por cubagem rigorosa e na Tabela 10 as equações selecionadas, quando a variável dependente se referia ao volume estimado pelo modelo formal, a partir de posições absolutas no tronco.

Tabela 8 - SELEÇÃO DOS MODELOS PARA AJUSTE AOS DADOS DOS POVOAMENTOS ATRAVÉS DO ÍNDICE DE FURNIVAL.

| Código do Povoamento | Equação (1) | | Equação (2) | |
|----------------------|--|-------|--|-------|
| | SPURR ⁴³ - SCHUMACHER ³⁶ | | SPURR ⁴³ - SCHUMACHER ³⁶ | |
| ALCF5132 | 8,02 | 6,68 | 6,77 | 8,11 |
| ALCF5222 | 7,92 | 5,77 | 6,44 | 8,21 |
| ALCF6132 | 7,70 | 5,48 | 7,51 | 5,81 |
| ALCF7222 | 7,38 | 8,74 | 5,82 | 6,85 |
| ALCF8122 | 7,42 | 7,96 | 9,22 | 7,79 |
| ALCF8222 | 7,90 | 6,42 | 6,73 | 6,16 |
| ALDN4222 | 4,99 | 4,43 | 7,32 | 6,45 |
| ALDN6222 | 7,06 | 6,88 | 6,47 | 7,66 |
| ALDN7132 | 8,36 | 8,02 | 8,08 | 7,59 |
| ALPA6131 | 7,04 | 6,83 | 10,49 | 11,35 |
| ALSF3222 | 6,17 | 4,62 | 5,55 | 3,55 |
| ALTM9131 | 9,89 | 9,39 | 12,91 | 12,39 |
| CAEX7132 | 6,91 | 6,20 | 7,57 | 7,87 |
| CIEX7132 | 5,68 | 5,39 | 6,72 | 6,39 |
| CLEX7132 | 8,59 | 8,61 | 8,46 | 8,26 |
| CLMC5121 | 6,27 | 3,91 | 6,07 | 3,95 |
| GRCB4131 | 5,28 | 4,97 | 5,32 | 4,98 |
| GRCB5132 | 6,66 | 5,15 | 6,89 | 5,75 |
| GRCF7132 | 8,94 | 7,39 | 8,58 | 7,65 |
| GRDN4222 | 4,50 | 5,41 | 6,20 | 5,94 |
| GRDN5132 | 6,46 | 5,17 | 7,18 | 5,66 |
| GRDN5222 | 11,31 | 9,72 | 6,01 | 7,21 |
| GRDN7222 | 8,27 | 6,85 | 7,69 | 7,59 |
| GREX7132 | 7,24 | 6,94 | 8,37 | 7,42 |
| GRMC2132 | 5,60 | 4,73 | 6,56 | 6,29 |
| GRMC5121 | 5,90 | 5,24 | 6,49 | 5,85 |
| GRPA5131 | 13,03 | 11,12 | 16,35 | 15,31 |
| GRSB4132 | 8,82 | 6,92 | 7,74 | 6,95 |
| GRSF6222 | 6,80 | 6,82 | 8,25 | 8,96 |
| MAEX7132 | 8,79 | 8,79 | 7,78 | 10,80 |
| PEEX7132 | 5,85 | 4,77 | 5,76 | 5,43 |
| PIEX7132 | 5,86 | 5,86 | 5,85 | 6,25 |
| PREX7132 | 6,58 | 6,92 | 5,64 | 5,66 |
| SACF7222 | 10,98 | 8,49 | 10,95 | 7,96 |
| SADN3222 | 4,23 | 4,25 | 6,99 | 6,42 |
| SADN8122 | 7,04 | 6,35 | 8,29 | 6,83 |
| SASF6222 | 8,21 | 6,32 | 8,71 | 7,25 |
| TEEX7132 | 7,67 | 6,58 | 8,32 | 8,08 |

(1) - Variável dependente refere-se ao volume cubado rigorosamente.

(2) - Variável dependente refere-se ao volume obtido pela aplicação do modelo formal.

Tabela 9 - EQUAÇÕES DE VOLUME SELECIONADAS A PARTIR DO AJUSTE
DOS MODELOS AOS DADOS REAIS.

| Código | Equação Seleccionada | R ² |
|----------|---|----------------|
| ALCF5132 | $\text{LnV} = -2,06524 + 1,73326.\text{LnD} + 1,19401.\text{LnH}$ | 0,9958 |
| ALCF5222 | $\text{LnV} = -3,22835 + 1,58170.\text{LnD} + 1,47607.\text{LnH}$ | 0,9967 |
| ALCF6132 | $\text{LnV} = -1,33378 + 1,79647.\text{LnD} + 0,99199.\text{LnH}$ | 0,9967 |
| ALCF7222 | $V = -0,00153 + 0,35433.\text{D2H}$ | 0,9816 |
| ALCF8122 | $V = -0,00779 + 0,34426.\text{D2H}$ | 0,9916 |
| ALCF8222 | $\text{LnV} = -2,26063 + 1,77989.\text{LnD} + 1,27213.\text{LnH}$ | 0,9970 |
| ALDN4222 | $\text{LnV} = -0,98895 + 1,80066.\text{LnD} + 1,84789.\text{LnH}$ | 0,9957 |
| ALDN6222 | $\text{LnV} = -2,35780 + 1,71374.\text{LnD} + 1,26852.\text{LnH}$ | 0,9940 |
| ALDN7132 | $\text{LnV} = -0,93209 + 1,90878.\text{LnD} + 0,91078.\text{LnH}$ | 0,9956 |
| ALPA6131 | $\text{LnV} = -1,29169 + 1,77120.\text{LnD} + 0,91629.\text{LnH}$ | 0,9856 |
| ALSF3222 | $\text{LnV} = -2,14430 + 1,63923.\text{LnD} + 1,15113.\text{LnH}$ | 0,9941 |
| ALTM9131 | $\text{LnV} = -0,29036 + 2,00238.\text{LnD} + 0,75599.\text{LnH}$ | 0,9804 |
| CAEX7132 | $\text{LnV} = -1,84052 + 1,73155.\text{LnD} + 1,09328.\text{LnH}$ | 0,9898 |
| CIEX7132 | $\text{LnV} = -1,74255 + 1,82829.\text{LnD} + 1,11544.\text{LnH}$ | 0,9936 |
| CLEX7132 | $V = 0,00859 + 0,31222.\text{D2H}$ | 0,9747 |
| CLMC5121 | $\text{LnV} = -2,17334 + 1,71930.\text{LnD} + 1,18570.\text{LnH}$ | 0,9957 |
| GRCB4131 | $\text{LnV} = -1,97898 + 1,75579.\text{LnD} + 1,15166.\text{LnH}$ | 0,9926 |
| GRCB5132 | $\text{LnV} = -1,41061 + 1,81093.\text{LnD} + 0,99336.\text{LnH}$ | 0,9973 |
| GRCF7132 | $\text{LnV} = -0,89295 + 1,89147.\text{LnD} + 0,89078.\text{LnH}$ | 0,9962 |
| GRDN4222 | $V = 0,00592 + 0,34811.\text{D2H}$ | 0,9954 |
| GRDN5132 | $\text{LnV} = -1,43167 + 1,84124.\text{LnD} + 1,04728.\text{LnH}$ | 0,9981 |
| GRDN5222 | $\text{LnV} = -1,13505 + 1,85331.\text{LnD} + 0,94216.\text{LnH}$ | 0,9883 |
| GRDN7222 | $\text{LnV} = -2,29649 + 1,71841.\text{LnD} + 1,24306.\text{LnH}$ | 0,9967 |
| CREX7132 | $\text{LnV} = -1,54551 + 1,77516.\text{LnD} + 1,02995.\text{LnH}$ | 0,9908 |
| GRMC2132 | $\text{LnV} = -1,18937 + 1,86404.\text{LnD} + 0,96953.\text{LnH}$ | 0,9965 |
| GRMC5121 | $\text{LnV} = -1,74301 + 1,84654.\text{LnD} + 1,15184.\text{LnH}$ | 0,9960 |
| GRPA5131 | $\text{LnV} = -0,70251 + 1,89663.\text{LnD} + 0,81425.\text{LnH}$ | 0,9691 |
| GRSB4132 | $\text{LnV} = -1,35461 + 1,81531.\text{LnD} + 0,98071.\text{LnH}$ | 0,9956 |
| GRSF6222 | $V = 0,01157 + 0,32927.\text{D2H}$ | 0,9913 |
| MAEX7132 | $V = 0,00590 + 0,33444.\text{D2H}$ | 0,9857 |
| PEEX7132 | $\text{LnV} = -0,91587 + 1,86219.\text{LnD} + 0,84506.\text{LnH}$ | 0,9963 |
| PIEX7132 | $V = 0,02166 + 0,32094.\text{D2H}$ | 0,9829 |
| PREX7132 | $V = 0,01436 + 0,33275.\text{D2H}$ | 0,9882 |
| SACF7222 | $\text{LnV} = -0,92288 + 1,93043.\text{LnD} + 0,93042.\text{LnH}$ | 0,9940 |
| SADN3222 | $V = 0,00359 + 0,36011.\text{D2H}$ | 0,9957 |
| SADN8122 | $\text{LnV} = -1,93769 + 1,76879.\text{LnD} + 1,17842.\text{LnH}$ | 0,9873 |
| SASF6222 | $\text{LnV} = -2,17696 + 1,70402.\text{LnD} + 1,21094.\text{LnH}$ | 0,9955 |
| TEEX7132 | $\text{LnV} = -2,18472 + 1,65278.\text{LnD} + 1,15557.\text{LnH}$ | 0,9908 |

Tabela 10 - EQUAÇÕES DE VOLUME SELECIONADAS A PARTIR DO AJUSTE
DOS MODELOS AOS DADOS DE VOLUME, ESTIMADOS ATRAVÉS
DE POSIÇÕES ABSOLUTAS NO TRONCO.

| Código | Equação Seleccionada | R ² |
|----------|--|----------------|
| ALCF5132 | $V = 0,01364 + 0,34200.D2H$ | 0,9912 |
| ALCF5222 | $V = 0,00436 + 0,35608.D2H$ | 0,9930 |
| ALCF6132 | $LnV = -1,51741 + 1,77834.LnD + 1,04956.LnH$ | 0,9964 |
| ALCF7222 | $V = 0,00900 + 0,33109.D2H$ | 0,9939 |
| ALCF8122 | $LnV = 0,09811 + 2,03666.LnD + 0,65667.LnH$ | 0,9953 |
| ALCF8222 | $LnV = -2,09923 + 1,74102.LnD + 1,18364.LnH$ | 0,9971 |
| ALDN4222 | $LnV = -1,95583 + 1,71058.LnD + 1,14334.LnH$ | 0,9916 |
| ALDN6222 | $V = 0,00910 + 0,33684.D2H$ | 0,9908 |
| ALDN7132 | $LnV = -1,48516 + 1,80587.LnD + 1,02975.LnH$ | 0,9960 |
| ALPA6131 | $V = -0,37297 + 0,37297.D2H$ | 0,9683 |
| ALSF3222 | $LnV = -2,96771 + 1,58416.LnD + 1,42353.LnH$ | 0,9967 |
| ALTM9131 | $LnV = -1,53876 + 1,88583.LnD + 1,13060.LnH$ | 0,9709 |
| CAEX7132 | $V = 0,01639 + 0,31239.D2H$ | 0,9867 |
| CIEX7132 | $LnV = -1,82356 + 1,80037.LnD + 1,12687.LnH$ | 0,9911 |
| CLEX7132 | $LnV = -0,25451 + 2,07888.LnD + 0,78451.LnH$ | 0,9819 |
| CLMC5121 | $LnV = -3,44658 + 1,55896.LnD + 1,51797.LnH$ | 0,9957 |
| GRCB4131 | $LnV = -2,18781 + 1,74197.LnD + 1,21659.LnH$ | 0,9918 |
| GRCB5132 | $LnV = -1,93996 + 1,77149.LnD + 1,16324.LnH$ | 0,9968 |
| GRCF7132 | $LnV = -1,37994 + 1,80542.LnD + 0,99353.LnH$ | 0,9959 |
| GRDN4222 | $LnV = -1,61337 + 1,75680.LnD + 1,05229.LnH$ | 0,9933 |
| GRDN5132 | $LnV = -1,19904 + 1,88627.LnD + 1,00033.LnH$ | 0,9978 |
| GRDN5222 | $V = 0,00591 + 0,34519.D2H$ | 0,9921 |
| GRDN7222 | $LnV = -2,44429 + 1,67846.LnD + 1,26318.LnH$ | 0,9959 |
| GREX7132 | $LnV = -1,44076 + 1,75564.LnD + 0,98640.LnH$ | 0,9891 |
| GRMC2132 | $LnV = -1,51950 + 1,85553.LnD + 1,08707.LnH$ | 0,9942 |
| GRMC5121 | $LnV = -3,62450 + 1,59247.LnD + 1,61841.LnH$ | 0,9950 |
| GRPA5131 | $LnV = -1,84254 + 1,81254.LnD + 1,17564.LnH$ | 0,9533 |
| GRSB4132 | $LnV = -2,18632 + 1,72205.LnD + 1,21515.LnH$ | 0,9957 |
| GRSF6222 | $V = 0,01499 + 0,33097.D2H$ | 0,9867 |
| MAEX7132 | $V = 0,01287 + 0,32416.D2H$ | 0,9848 |
| PEEX7132 | $LnV = -0,84595 + 1,90751.LnD + 0,86633.LnH$ | 0,9956 |
| PIEX7132 | $V = 0,02480 + 0,32379.D2H$ | 0,9825 |
| PREX7132 | $V = 0,01696 + 0,32800.D2H$ | 0,9910 |
| SACF7222 | $LnV = -0,91022 + 1,87653.LnD + 0,89072.LnH$ | 0,9943 |
| SADN3222 | $LnV = -0,90551 + 2,00136.LnD + 0,99147.LnH$ | 0,9925 |
| SADN8122 | $LnV = -1,98527 + 1,74414.LnD + 1,17618.LnH$ | 0,9968 |
| SASF6222 | $LnV = -2,01812 + 1,71894.LnD + 1,17237.LnH$ | 0,9941 |
| TEEX7132 | $LnV = -1,96743 + 1,71876.LnD + 1,12460.LnH$ | 0,9868 |

3.4. ANÁLISES DE APLICAÇÃO

Em função do método utilizado para a obtenção do volume (cubagem rigorosa ou aplicação do modelo de estimativa do volume através de posições absolutas no tronco), obteve-se para cada povoamento o selecionamento de duas equações de volume. Tornava-se, então, necessário definir quanto à igualdade destas equações. Uma vez consideradas semelhantes, então, logicamente, a estimativa do volume das árvores em pé poderia ser comparável à cubagem rigorosa para o propósito de se determinar equações de volume.

3.4.1. Análise da Probabilidade Associada

A aplicação deste teste baseou-se na comparação dos resíduos observados pela comparação dos volumes cubados pela fórmula de Smalian e os volumes estimados através de posições absolutas no tronco. Os resultados obtidos em relação ao exame da sequência dos sinais foram mostrados na Tabela 11. Embora para três povoamentos (ALCF5222, ALCF7222 e CAEX7132) o teste tenha indicado que os dados não se distribuíam aleatoriamente, pôde-se observar que esta análise não explicava, satisfatoriamente, as possíveis diferenças existentes entre as equações. Assim, neste caso, a Análise da Probabilidade Associada não poderia ser considerada como critério para decidir quanto à igualdade das equações.

Tabela 11 - ANÁLISE DE SEQUÊNCIA DOS SINAIS ATRAVÉS DA PROBABILIDADE ASSOCIADA DOS RESÍDUOS GERADOS PELA APLICAÇÃO DE EQUAÇÕES DE VOLUME INDIRETAS AOS DADOS REAIS DE VOLUME.

| CÓDIGO | N1 | N2 | Corridas | Média | Desvio | Normal | P.A. |
|----------|----|----|----------|-------|----------|--------|-------|
| | + | - | u | μ | δ | Z | % |
| ALCF5132 | 24 | 16 | 15 | 20,20 | 2,99 | -1,57 | 5,82 |
| ALCF5222 | 19 | 11 | 9 | 14,93 | 2,49 | -2,18 | 1,46* |
| ALCF6132 | 24 | 11 | 13 | 16,08 | 2,50 | -1,23 | 10,93 |
| ALCF7222 | 23 | 17 | 14 | 20,55 | 3,05 | -1,98 | 2,39* |
| ALCF8122 | 16 | 29 | 17 | 21,62 | 3,03 | -1,36 | 8,69 |
| ALCF8222 | 11 | 34 | 16 | 17,62 | 2,43 | -0,47 | 31,92 |
| ALDN4222 | 16 | 4 | 5 | 7,40 | 1,35 | -1,41 | 7,93 |
| ALDN6222 | 18 | 12 | 15 | 15,40 | 2,58 | 0,04 | 48,40 |
| ALDN7132 | 23 | 26 | 22 | 25,41 | 3,45 | -0,84 | 20,05 |
| ALPA6131 | 25 | 7 | 10 | 11,94 | 1,87 | -0,77 | 22,06 |
| ALSF3222 | 13 | 7 | 11 | 10,10 | 1,97 | 0,71 | 23,89 |
| ALTM9131 | 15 | 17 | 17 | 16,94 | 2,77 | 0,20 | 42,07 |
| CAEX7132 | 19 | 11 | 20 | 14,93 | 2,49 | 2,23 | 1,29* |
| CIEX7132 | 27 | 27 | 30 | 28,00 | 3,64 | 0,69 | 24,51 |
| CLEX7132 | 9 | 36 | 16 | 15,40 | 2,09 | 0,52 | 30,15 |
| CLMC5121 | 30 | 11 | 16 | 17,10 | 2,46 | 0,65 | 25,78 |
| GRCB4131 | 48 | 13 | 19 | 21,46 | 2,58 | -0,76 | 22,36 |
| GRCB5132 | 56 | 23 | 30 | 33,61 | 3,63 | -0,86 | 19,49 |
| GRCF7132 | 19 | 31 | 23 | 24,56 | 3,29 | -0,32 | 37,45 |
| GRDN4222 | 31 | 12 | 19 | 18,30 | 2,56 | 0,47 | 31,92 |
| GRDN5132 | 18 | 17 | 18 | 18,49 | 2,91 | 0,01 | 49,60 |
| GRDN5222 | 16 | 14 | 12 | 15,93 | 2,68 | -1,28 | 10,03 |
| GRDN7222 | 18 | 22 | 24 | 20,80 | 3,09 | 1,20 | 11,51 |
| GREX7132 | 24 | 30 | 30 | 27,67 | 3,59 | 0,79 | 21,48 |
| GRMC2132 | 33 | 15 | 16 | 21,62 | 2,93 | -1,75 | 4,01 |
| GRMC5121 | 28 | 12 | 18 | 17,80 | 2,61 | 0,27 | 39,36 |
| GRPA5131 | 17 | 17 | 20 | 18,00 | 2,87 | 0,87 | 19,22 |
| GRSB4132 | 54 | 16 | 24 | 25,68 | 2,91 | -0,41 | 34,09 |
| GRSF6222 | 25 | 10 | 19 | 15,28 | 2,36 | 1,78 | 3,75 |
| MAEX7132 | 33 | 20 | 32 | 25,90 | 3,38 | 1,95 | 2,56 |
| PEEX7132 | 20 | 34 | 20 | 26,18 | 3,39 | -1,68 | 4,65 |
| PIEX7132 | 31 | 15 | 21 | 21,22 | 2,94 | 0,10 | 46,02 |
| PREX7132 | 25 | 20 | 22 | 23,22 | 3,27 | -0,22 | 41,29 |
| SACF7222 | 18 | 22 | 20 | 20,80 | 3,09 | -0,10 | 46,02 |
| SADN3222 | 11 | 9 | 10 | 10,90 | 2,15 | -0,18 | 42,86 |
| SADN8122 | 21 | 29 | 26 | 25,36 | 3,41 | 0,33 | 37,07 |
| SASF6222 | 21 | 14 | 15 | 17,80 | 2,79 | -0,82 | 20,61 |
| TEEX7132 | 29 | 25 | 34 | 27,85 | 3,62 | 1,84 | 3,29 |

Como exemplo pode-se citar os resultados obtidos para o povoamento TEEX7132 onde o número de sinais positivos e ne-

gativos foram próximos ($N_1 = 29$ e $N_2 = 25$) e o número de corridas foi o maior verificado entre todos os povoamentos analisados. Os resultados indicaram que a distribuição dos sinais estava próxima do limite de rejeição, ou seja, de ser considerada tendenciosa. Por outro lado, os povoamentos CLEX7132 e ALCF8222, que apresentaram grandes diferenças entre os sinais, foram classificados como aleatórios e longe dos limites de rejeição determinados pela distribuição normal.

Os diferentes números de observações para cada povoamento analisado, poderão ter contribuído para dificultar a interpretação dos resultados.

3.4.2. Análise de Covariância

Os resultados referentes à aplicação do teste de Paralelismo e Coincidência são mostrados na Tabela 12.

Em nove dos 38 povoamentos analisados, o teste revelou diferenças entre as capacidades explicativas das equações determinadas a partir de cubagens rigorosas e estimativas dos volumes através de posições absolutas. Este teste indicou que os povoamentos compostos pela espécie *Eucalyptus cloeziana* (CLEX7132 e CLMC5121) apresentaram equações que diferiam pelo intercepto. Isto significa que a utilização do modelo de estimativa do volume através de posições absolutas estaria, neste caso, introduzindo um erro constante em relação ao volume cubado rigorosamente. Para sete outros povoamentos (ALCF7222, ALCF8222, GRCB4131, GRCB5132, CRMC2132, GRSB4132 e SADN3222) foram detectadas diferenças relativas ao coeficiente de inclinação. Neste caso, estaria ocorrendo a introdução de erros de tendência que são proporcionais às dimensões das árvores.

Tabela 12 - COMPARAÇÃO ENTRE AS EQUAÇÕES DETERMINADAS A PARTIR DOS VOLUMES REAIS E ESTIMADOS POR POSIÇÕES ABSOLUTAS, ATRAVÉS DAS ANÁLISES DE COVARIÂNCIA E EFICIÊNCIA RELATIVA.

| CÓDIGO | Valor de 'F' para | | Eficiência |
|----------|-------------------|-----------|--------------|
| | b_1 | b_0 | Relativa (%) |
| ALCF5132 | 0,0101 | 1,1410 | 98,4 |
| ALCF5222 | 1,9744 | 2,2941 | 96,3 |
| ALCF6132 | 1,1082 | 1,6262 | 99,6 |
| ALCF7222 | 8,7906** | | 97,5 |
| ALCF8122 | 1,9465 | 2,0573 | 99,9 |
| ALCF8222 | 22,3900** | | 93,1 |
| ALDN4222 | 4,0900 | 6,6300 | 95,1 |
| ALDN6222 | 0,6093 | 0,0442 | 99,6 |
| ALDN7132 | 1,1387 | 0,9937 | 98,6 |
| ALPA6131 | 2,3693 | 7,0450 | 96,6 |
| ALSF3222 | 4,9200 | 3,0180 | 96,1 |
| ALTM9132 | 1,1475 | 0,0038 | 97,9 |
| CAEX7132 | 0,0814 | 0,9518 | 98,4 |
| CIEX7132 | 0,2719 | 0,0001 | 99,9 |
| CLEX7132 | 0,1636 | 10,1200** | 94,1 |
| CLMC5121 | 3,4750 | 8,8962** | 98,0 |
| GRCB4131 | 10,1300** | | 95,2 |
| GRCB5132 | 11,6900** | | 96,0 |
| GRCF7132 | 2,2590 | 2,2230 | 99,0 |
| GRDN4222 | 6,9328 | 6,0067 | 98,6 |
| GRDN5132 | 0,8078 | 0,7928 | 99,2 |
| GRDN5222 | 0,2075 | 0,1863 | 99,9 |
| GRDN7222 | 1,0515 | 0,7311 | 99,5 |
| GREX7132 | 1,6773 | 0,4898 | 98,9 |
| GRMC2132 | 9,4984** | | 96,7 |
| GRMC5121 | 0,0001 | 2,7039 | 97,4 |
| GRPA5131 | 2,5200 | 0,1300 | 98,5 |
| GRSB4132 | 8,4911** | | 98,2 |
| GRSF6222 | 0,0390 | 1,9800 | 99,0 |
| MAEX7132 | 1,4218 | 0,0010 | 99,9 |
| PEEX7132 | 2,8446 | 0,0014 | 98,5 |
| PIEX7132 | 0,0980 | 3,9600 | 99,1 |
| PREX7132 | 0,2900 | 0,0020 | 99,0 |
| SACF7222 | 2,5224 | 1,0790 | 99,6 |
| SADN3222 | 16,6100** | | 91,4 |
| SADN8122 | 2,0176 | 1,5711 | 99,1 |
| SASF6222 | 0,3813 | 0,9069 | 99,7 |
| TEEX7132 | 1,2969 | 1,1955 | 100,6 |

** F significativo ao nível de 1%.

Todas estas diferenças foram significativas ao nível de 1% de probabilidade em relação ao teste de F. Em relação aos povoamentos de *Eucalyptus alba* "híbrido de Rio Claro", estas ocorreram em povoamentos regenerados por talhadia. Para as diferenças observadas para *Eucalyptus grandis*, em três casos (dos quatro observados), os povoamentos foram instalados a partir de sementes oriundas da Rodésia, África. Em relação a *Eucalyptus saligna*, estas se deram em relação a um povoamento jovem e regenerado por talhadia.

3.4.3 Análise da Eficiência Relativa

Os resultados referentes à Eficiência Relativa (Tabela 12) mostraram-se menos rigorosos que os obtidos pelo teste do Paralelismo e Coincidência em termos de decidir sobre a igualdade ou não das equações comparadas. Em apenas três casos este teste indicou haver diferenças significativas ao nível de 5%, evidenciando assim ser menor o seu nível de sensibilidade. Os povoamentos para os quais as equações foram julgadas diferentes pela aplicação deste teste foram ALCF8222, CLEX7132 e SADN3222.

Para o povoamento TEEX7132 o teste indicou uma eficiência relativa de 100,6%. Isto quer dizer que a equação ajustada a partir de volumes estimados estaria fornecendo estimativas mais precisas que aquela ajustada aos próprios dados cubados rigorosamente. Verificou-se que isto se dava pelo fato de não terem sido corrigidas as discrepâncias logarítmicas. Assim, a equação obtida dos volumes cubados pela fórmula de Smalian apresentava um erro médio de -0,45%, enquanto um erro menor foi verificado pela equação obtida a partir de volumes estimados

por posições absolutas no tronco.

Esta característica sugeria que os valores logarítmicos devessem ser corrigidos através do Índice de Correção de Meyer. Resolveu-se, então, a verificar a extensão dos erros determinados pela dos dados. Para tal, procedeu-se a anti-logaritmização dos dados referentes a cada povoamento analisado e os comparou com os volumes reais (obtidos pela cubagem rigorosa). Os resultados obtidos são mostrados na Tabela 13.

Tabela 13 - ERROS (%) RELATIVOS A ANTI-LOGARITMIZAÇÃO DOS DADOS DE VOLUME DETERMINADOS PELA APLICAÇÃO DO MODELO $\text{LnV} = b_0 + b_1 \cdot \text{LnD} + b_2 \cdot \text{LnH}$.

| POVOAMENTO | V_1 | V_2 | ERRO (%) |
|------------|---------|---------|----------|
| ALCF5132 | 0,19705 | 0,19754 | 0,25 |
| ALCF5222 | 0,12604 | 0,12604 | - |
| ALCF6132 | 0,16220 | 0,16175 | -0,28 |
| ALCF8222 | 0,28825 | 0,28707 | -0,40 |
| ALDN4222 | 0,06785 | 0,06774 | -0,16 |
| ALDN6222 | 0,12382 | 0,12409 | 0,22 |
| ALDN7132 | 0,30927 | 0,30644 | -0,91 |
| ALPA6131 | 0,03807 | 0,03800 | -0,18 |
| ALSF3222 | 0,06333 | 0,06332 | -0,02 |
| ALTM9131 | 0,06937 | 0,06915 | -0,32 |
| CAEX7132 | 0,20220 | 0,20214 | -0,03 |
| CIEX7132 | 0,22234 | 0,22227 | -0,03 |
| CLMC5121 | 0,06775 | 0,06762 | -0,19 |
| GRCB4131 | 0,12130 | 0,12122 | -0,06 |
| GRCB5132 | 0,16788 | 0,16776 | -0,07 |
| GRCF7132 | 0,31108 | 0,31004 | -0,33 |
| GRDN5132 | 0,21790 | 0,21812 | 0,10 |
| GRDN5222 | 0,12608 | 0,12559 | -0,38 |
| GRDN7222 | 0,23911 | 0,23849 | -0,26 |
| GREX7132 | 0,37644 | 0,37487 | -0,42 |
| GRMC2132 | 0,11623 | 0,11625 | 0,01 |
| GRMC5121 | 0,07503 | 0,07473 | -0,39 |
| GRPA5131 | 0,05438 | 0,05408 | -0,55 |
| GRSB4132 | 0,14437 | 0,15343 | -0,60 |
| PEEX7132 | 0,21628 | 0,21648 | 0,09 |
| SACF7222 | 0,23289 | 0,23324 | 0,15 |
| SADN8122 | 0,32544 | 0,32544 | -0,25 |
| SASF6222 | 0,15686 | 0,15799 | 0,72 |
| TEEX7132 | 0,20033 | 0,19943 | -0,45 |

V_1 = Volume médio por povoamento obtido pela cubagem rigorosa.

V_2 = Volume médio por povoamento obtido pela aplicação do modelo logarítmico.

Os resultados evidenciam que:

- a) em nenhum caso o uso de transformação logarítmica dos dados proporcionou erros superiores a 1%;
- b) a transformação dos dados para a determinação de equações logarítmicas e posterior re-transformação dos dados para a obtenção dos dados de volume, podem fornecer resultados médios que são superiores ou inferiores à média dos volumes reais.

Isto quer dizer que a correção da discrepância logarítmica para as equações testadas não interfere substancialmente nos resultados e que a correção destas discrepâncias pelo Índice de Correção de Meyer, em alguns casos, poderia ser inclusive prejudicial à precisão dos resultados. Neste caso, este índice estaria sempre agindo de modo a aumentar o valor dos volumes estimados pelos modelos logarítmicos.

3.4.4 Plotagem Gráfica

Os resultados referentes à utilização dos testes de Paralelismo e Coincidência e Eficiência Relativa mostraram haver diferenças em relação aos níveis de sensibilidade. Foi necessário, então, determinar qual deles seria mais apropriado para a comparação de equações de volume. Procurou-se, então, efetuar a plotagem gráfica dos volumes estimados pelas equações obtidas a partir dos volumes cubados rigorosamente e dos volumes estimados pelas equações determinadas tendo como variável o volume obtido pela aplicação do modelo formal ($V=f(d_{0,3}, d_{3,3}, d_{5,3}, h)$).

Como neste caso a interpretação dos resultados seria usada como base para definir qual o método mais apropriado para a comparação das equações, decidiu-se analisar apenas as equa-

ções referentes aos povoamentos cujos testes as indicaram como sendo de diferentes capacidades explicativas do volume. Os resultados referentes aos demais povoamentos foram mostrados no Anexo II.

Para a análise gráfica, o critério empregado foi o de que os erros médios por classe de volume não deveriam exceder a 5% em relação à média dos volumes cubados rigorosamente ou ao volume estimado pela equação ajustada a estes próprios dados. Isto foi decidido em função dos limites de erro normalmente aceitos nos trabalhos florestais para as estimativas dos volumes de povoamentos implantados.

Em relação ao povoamento ALCF7222 (Figura 5), notou-se que a capacidade explicativa das duas equações foi muito próxima. Embora na primeira classe de volume ocorresse uma superestimativa para a equação obtida de dados estimados, em termos absolutos, foi menor que a subestimativa verificada para a equação obtida dos dados reais. Em relação às demais classes, verificou-se que nenhuma alcançou o limite de 5% e a equação a ser testada forneceu valores mais próximos da média, em 7 das 12 classes existentes. Pela análise de covariância, as equações diferem quanto as inclinações. Pelo teste de eficiência relativa, estas apresentaram resultados de 97,5%. Neste caso, a utilização da ER% mostrou-se como um critério de seleção mais apropriado.

Quanto aos povoamentos ALCF8222 e CLEX7132 (Figuras 6 e 7), verificou-se que as equações foram consideradas diferentes pelos dois testes. Nestes casos, ambos se mostraram eficientes ao rejeitá-las, uma vez que para estes povoamentos, os erros superaram os limites de 5% em várias classes. Para o po-

voamento CLEX7132, o teste da Eficiência Relativa apresentou resultados próximos ao limite de aceitação (95%). Isto ocorreu porque a equação referente aos dados reais também não fornecia estimativas precisas dos volumes.

Figura 5 - ERROS PERCENTUAIS POR CLASSE DE VOLUME PARA O POVOAMENTO ALCF7222 DETERMINADOS PELO AJUSTE DE EQUAÇÕES DE VOLUME AOS DADOS REAIS (1) E ESTIMADOS (2).

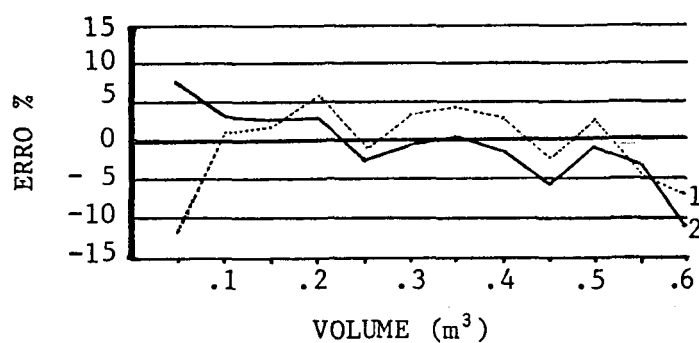


Figura 6 - ERROS PERCENTUAIS POR CLASSE DE VOLUME PARA O POVOAMENTO ALCF8222 DETERMINADOS PELO AJUSTE DE EQUAÇÕES DE VOLUME AOS DADOS REAIS (1) E ESTIMADOS (2).

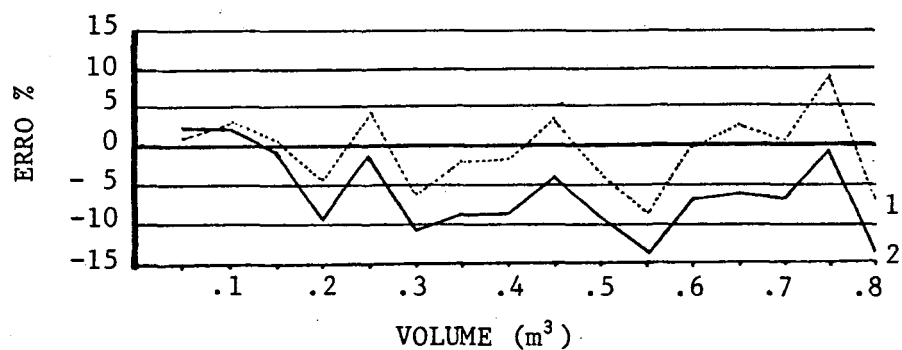
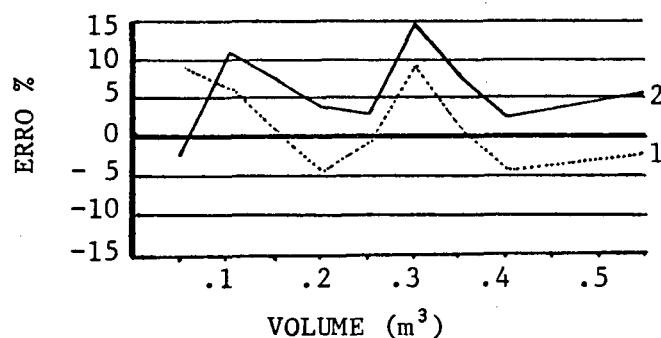


Figura 7 - ERROS PERCENTUAIS POR CLASSE DE VOLUME PARA O POVOAMENTO CLEX7132 DETERMINADOS PELO AJUSTE DE EQUAÇÕES DE VOLUME AOS DADOS REAIS (1) E ESTIMADOS (2).



Para os povoamentos CLMC5121, GR CB4131 e GR CB5132 (Figuras 8, 9 e 10), notou-se uma diferença constante entre as equações. Entretanto, em nenhuma classe, esta diferença atingiu o limite de 5% de erro, estabelecido como critério de análise.

Pela análise de covariância, o povoamento CLMC5121 apresentou diferenças em relação ao intercepto e os demais diferiram quanto à inclinação das equações comparadas. Pela análise gráfica, esperava-se que, em todos estes casos, o teste indicasse diferenças (caso houvessem) em termos de intercepto, uma vez que as linhas de regressão tendem a ser paralelas. Os resultados referentes à eficiência relativa CLMC5121 = 98,0%, GR CB4131 = 95,2% e GR CB5132 = 96,0%, pareciam ser mais compatíveis com os limites de erro aceitáveis na prática.

Figura 8 - ERROS PERCENTUAIS POR CLASSE DE VOLUME PARA O POVOAMENTO CLMC5121 DETERMINADOS PELO AJUSTE DE EQUAÇÕES DE VOLUME AOS DADOS REAIS (1) E ESTIMADOS (2).

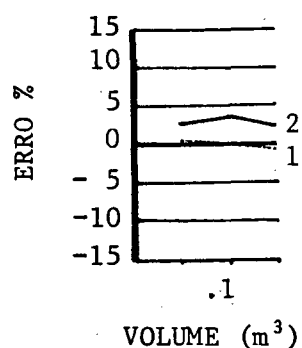


Figura 9 - ERROS PERCENTUAIS POR CLASSE DE VOLUME PARA O POVOAMENTO GRCB4132 DETERMINADOS PELO AJUSTE DE EQUAÇÕES DE VOLUME AOS DADOS REAIS (1) E ESTIMADOS (2).

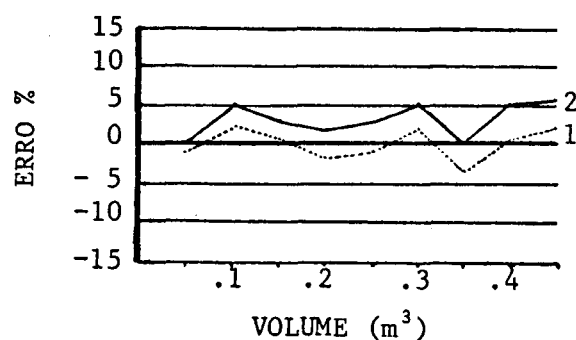
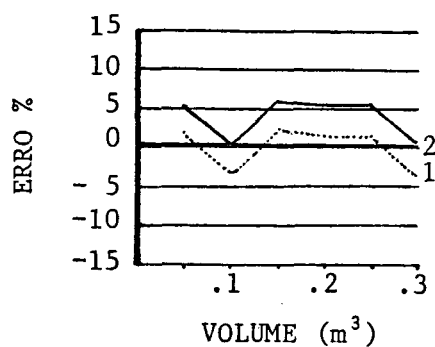
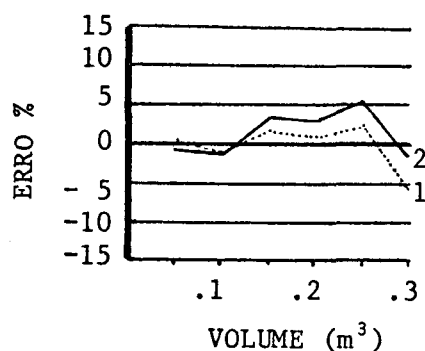


Figura 10 - ERROS PERCENTUAIS POR CLASSE DE VOLUME PARA O POVOAMENTO GRCB5132 DETERMINADOS PELO AJUSTE DE EQUAÇÕES DE VOLUME AOS DADOS REAIS (1) E ESTIMADOS (2).



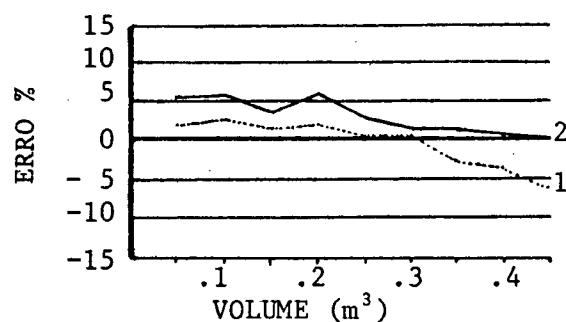
Para as equações do povoamento GRMC2132 (Figura 11), verificou-se pequenas diferenças em relação à tendência de inclinação. Pelos erros observados, não poderiam ser consideradas diferentes, conforme indicaram os resultados da análise de covariância. Os resultados da eficiência relativa ($ER\% = 96,7\%$), neste caso, poderiam ser considerados como mais realísticos.

Figura 11 - ERROS PERCENTUAIS POR CLASSE DE VOLUME PARA O POVOAMENTO GRMC2132 DETERMINADOS PELO AJUSTE DE EQUAÇÕES DE VOLUME AOS DADOS REAIS (1) E ESTIMADOS (2).



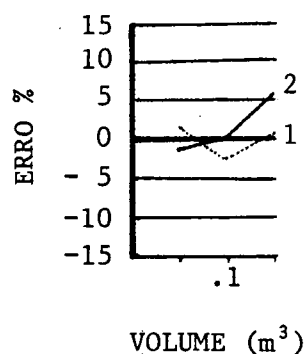
Para as equações do povoamento GRSB4132 (Figura 12), constatou-se que a análise de covariância indicou diferenças quanto à inclinação, enquanto a eficiência relativa resultou em 98,2%. Em relação aos erros por classe de volume, a equação testada estimou melhor os volumes maiores, embora apresentando superestimativa para todas as classes. Para a equação ajustada aos dados de cubagem, notou-se que esta apresentava mudança de tendência, ou seja, superestimativa os volumes menores e subestimava os volumes maiores. Notou-se, portanto, que as equações poderiam ser consideradas diferentes, entretanto, suas capacidades explicativas do volume não diferiam. Isto evidenciou, também, que novos modelos deveriam ser ajustados, quando se objetivava determinar equações com a finalidade de construir tabelas de volume.

Figura 12 - ERROS PERCENTUAIS POR CLASSE DE VOLUME PARA O POVOAMENTO GRSB4132 DETERMINADOS PELO AJUSTE DE EQUAÇÕES DE VOLUME AOS DADOS REAIS (1) E ESTIMADOS (2).



Em relação ao povoamento SADN3222 (Figura 13), foram verificadas diferenças entre as equações para todos os dois métodos de análise. Entretanto, em razão do pequeno número de classes de volume, estas poderiam ser consideradas como semelhantes, uma vez que o erro médio foi de 2,57%. Neste caso, ficou evidenciada a importância de se proceder a análise dos resultados.

Figura 13 - ERROS PERCENTUAIS POR CLASSE DE VOLUME PARA O POVOAMENTO SADN3222 DETERMINADOS PELO AJUSTE DE EQUAÇÕES DE VOLUME AOS DADOS REAIS (1) E ESTIMADOS (2).



Entre os testes empregados para a comparação de equações, constatou-se que o teste da Eficiência Relativa poderia ser considerado como o que apresenta resultados mais consistentes. A análise gráfica dos resultados indicaram ser o teste de Paralelismo e Coincidência muito rigoroso na comparação das equações de volume. Neste caso, seriam rejeitadas equações, que em termos práticos, poderiam ser consideradas como de precisões semelhantes. O modelo determinado para estimar o volume a partir de posições absolutas forneceu erros acima de 5% apenas para os povoamentos ALCF8222 e CLEX7132. Analisando os dados destes povoamentos constatou-se que para o povoamento ALCF8222, em mais da metade das árvores, ocorriam casos em que o diâmetro se tornava maior com o aumento da altura de medição, concluindo-se que as árvores apresentavam alguma anomalia ou, então, foram cometidos erros na obtenção dos dados de campo.

Em relação ao povoamento CLEX7132, a explicação para a superestimativa poderia estar relacionada ao tipo de casca. Esta espécie apresenta casca rugosa principalmente na base das árvores. O fato de se ter medido a circunferência, ao invés do diâmetro, pode ter contribuído para magnificar os erros de medição nas posições inferiores do tronco, que seriam utilizadas como variáveis de resolução do modelo formal.

4. CONCLUSÕES

Com base nas análises efetuadas e para os dados utilizados neste trabalho, concluiu-se que:

- 1 - O diâmetro localizado na posição absoluta de 5,30 metros a partir da base foi, entre as comparadas, a variável mais correlacionada com o volume total. Sua capacidade explicativa do volume foi inclusive superior à determinada pela associação das variáveis referentes ao diâmetro ao nível do peito (d) e altura total (h).
- 2 - A medição de diâmetros adicionais no tronco, dependendo de suas localizações, também, contribuíram significativamente para explicar as variações de volume.
- 3 - A utilização de modelos logarítmicos mostraram-se superiores aos modelos lineares quanto à precisão de ajuste dos dados de volume.
- 4 - Dentro de um limite médio de erro de 5%, o volume de *Eucalyptus* spp pode ser determinado pela aplicação do modelo:

$$\text{LnV} = b_0 + b_1 \cdot \text{Lnd}_{0,3} + b_2 \cdot \text{Lnd}_{3,3} + b_3 \cdot \text{Lnd}_{5,3} + b_4 \cdot \text{Lnh}$$

Cuja resolução se dá pela aplicação dos seguintes coeficientes:

$$b_0 = 0,38937$$

$$b_1 = 0,28109$$

$$b_2 = 0,63019$$

$$b_3 = 1,04358$$

$$b_4 = 0,58736$$

- 5 - A análise da Probabilidade Associada não se mostrou um método eficiente para comparar equações de volume.
- 6 - O teste de Paralelismo e Coincidência mostrou-se muito rigoroso e sua aplicação poderia rejeitar a igualdade de equações que, dentro dos limites de aceitação prática dos erros (5%), seriam consideradas como semelhantes.
- 7 - O teste da eficiência relativa foi considerado como o mais adequado para comparar equações de volume.
- 8 - A re-transformação dos dados, quando os volumes foram ajustados pelo modelo logarítmico de SCHUMACHER & HALL³⁶, provocou pequenos desvios em relação à média dos valores cubados rigorosamente e, para nenhum dos povoamentos analisados foram observados erros maiores que 1%, em função deste procedimento.
- 9 - A utilização do Índice de Correção de Meyer para corrigir as discrepâncias logarítmicas poderia ser, em alguns casos, prejudicial à precisão de estimativa dos modelos.

SUMMARY

The main objective of this research was to determine a volume equation of *Eucalyptus* spp which would be independent of specie, local, age, spacing and planting system.

Data from 11 species, 6 different bioclimatic regions and 6 spacing systems were used in this study. The plant ages were between 2 and 9 years old and the whole set of data belonged to either, seed plantations or coppice.

The formal model was based on diameters obtained at absolute positions along the bole. These diameters were measured at every meter up to the height of 7,30 meters from the bases.

It was observed that the diameter located at 5,30 meter from the bases, presented the highest correlation with the total volume.

Using the selective process called FORWARD, it was chosen the following model for volume estimating.

$$\ln V = b_0 + b_1 \cdot \ln d_{0,5} + b_2 \cdot \ln d_{3,3} + b_3 \cdot \ln d_{5,3} + b_4 \cdot \ln h$$

where V = volume in cubic meters;

d = diameter in centimeters;

h = height in meters.

Due to the known difficulties to measure these variables in the field, it was chosen to determine volume equations with

the estimated volumes obtained from the above models as dependent variable. Therefore, these estimated parameters were associated only to those plants that were felled down to obtain a rigorous calculated cubic volume measurement.

In the both cases, estimated or calculated volume, it was estimated separated equations of combined variable of Spurr and logarithmic form of SCHUMACHER & HALL³⁶. The best fit of each equation was selected by the statistical criteria of FURNIVAL.

Using the Chi-square test proposed by Freese, it was developed a new method to compare these equations, namely the Method of Relative Efficiency given by the following formula:

$$ER\% = 100 - 10 \left(\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_{is})^2}{\sum_{i=1}^n (d_{ir})^2} - 1} \right)$$

Where:

ER = Relative Efficiency in percent;

d_{is} = difference between the estimated volume from the equation which is being tested and the real volume;

d_{ir} = difference between the estimated volume by the fitted equation adjusted to the real data and themselves.

To compare equations the following test were used:

- Test of Z (Associated probability analysis);
- Test of Paralellism and Coincidence (Covariance analysis);
- and
- Test of Relative Efficiency.

A graphycal interpretation of the results was done assuming that there was no significant difference between equation

when the model to be tested do not have shown errors greater than 5% in relation to the estimated and the real volume (in class of volume $0,05m^3$).

The results shown that only the Covariance Analysis and the Relative Efficiency Test were efficient to compare the equations. Also, the covariance analysis was considered a very rigorous test that could reject equality between equations when the observed data was showing they were alike.

Thus, it was indicated the Method of Relative Efficiency to compare equations for the above purposes.

From the analysed stands, only two have shown errors above the limit of 5%, but from a careful study of the original data this phenomena could be explained. Therefore, as long as a limit of 5% of error would be acceptable to estimate volume, the selected equation could be used in practical work.

In order to estimate the proportion of bark in the tree, the following model was applied to the species of *E. alba* and *E. saligna*:

$$\%CASCA = 100(1 - C_{sc}/C_{1,3} \cdot e^{-0,16024 + 0,02226 \ln C_{1,3}})$$

Where:

CASCA = bark in percent;

C_{sc} = circumference without bark measured at DBH level, in centimeters;

$C_{1,3}$ = circumference with bark at DBH level, in centimeters.

This model was considered efficient to estimate the proportion of bark to these species independently of provenan-

ces, ages, local, spacing and planting systems (seeds and coppice).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - AHRENS, S. A mathematical expression of stem form for Loblolly Pine in southren Brazil. Oklahoma, Oklahoma State University, 1980. 60 p. M.Sc. Thesis.
- 2 - ARNEY, D.J. & PAINE, D.P. Tree and stand volumes using heightaccumulation and the telescopic spiegel-relaskop. Forest Science, 18(2): 159-68, June, 1972.
- 3 - BITTERLICH, W. Spiegel-relaskop: the modern instrument to measure the volume of forest stands optically; Salsburg, Austria, Feinmechansche Optische Betriebsgesellschaft, s.d. 34 p.
- 4 - _____. Telerelaskop techniques. In: IUFRO World Congress, 17, Japan, 1981. Proceedings. Japan, IUFRO, 1981. V.4, p. 155-162.
- 5 - CROSBY, P.; BARRETT, J.P. & BOCKO, R. Photo estimates of upper stem diameters. Journal of Forestry, 81(12):795-97, Dec. 1983.
- 6 - DRAPER, N. & SMITH, H. Applied regression analysys. New York, John Wiley & Sons, 1966. 405 p.
- 7 - FAO Manual de Inventario Florestal: con especial referencia a los bosques mixtos tropicales. Roma, 1974. 196 p.
- 8 - FORSLUND, R.R. A geometrical tree volume model based on the location of the centre of gravity of the bole. Canadian Journal of Forest Research. 12(2): 215-21, 1982.
- 9 - FREESE, F. Testing accuracy. Forest Science, 6(2): 139-45, 1960.
- 10 - FREESE, F. Elementary statistical methods for foresters. Washington, U.S. Department of Agriculture, Forest

Service, 1967. 87 p. (Agriculture Handbook, 317).

- 11 - FURNIVAL, G.M. An index for comparing equation used in constructing volume tables. Forest Science. 7(4): 337-41, 1961.
- 12 - GIRARD, J.W. Volume tables for Mississippi bottomland hardwoods and southern pines. Journal of Forestry, 31: 34-41, 1933.
- 13 - GOLFARI, L.; CASER, R.L. & MOURA, V.P.G. Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil (2ª aproximação). PRODEPEF, PNUD/FAO/IBDF/BRA-45. Série Técnica nº 11, Belo Horizonte, 1978.
- 14 - GUIMARÃES, D.P. & CASTRO, L.H.R. Novos métodos para a estimativa do volume de árvores em pé. Planaltina, EMBRAPA-DID, 1982, 16 p. (EMBRAPA-CPAC. Boletim de Pesquisa, 12).
- 15 - HOHENADL, W. Der Aufbau der Baumschäfte. Forstwiss. Cbl., (46): 495-509. 1924.
- 16 - KILKKI, P. Sample trees in timber volume estimation. In: IUFRO Subject Group S4.02. Forest Inventory for Improved management: Proceedings. Finland, IUFRO, 1983. p. 84-92.
- 17 - KIO, P.R. Application of ground-oblique photographs to the measurement of standing trees. Forest Science, 17(1) : 45-54. Mar. 1971.
- 18 - KOZAK, A. Notes on regressions and correlation analysis as important tools in forest research. In: IUFRO Subject Group S4.02. Forest Resource Inventory. IUFRO, 16, Oslo, Norway. 1976.
- 19 - LA MARCA, O. Indagine preliminare sui metodi più usati per la cubatura di alberi in piedi e atterrati - Confronto com i valori ottenuti della cubatura per sezioni. Montanaro D'Italia - Monti & Boschi, 29(3): 59-64, 1978.
- 20 - LOETSCH, F.; ZOHRER, F. & HALLER, K.E. Forest Inventory. BLV Verlagsgesellschaft, Vol II. Munchen, 1973. 469 p.
- 21 - MENDES, C.J.; REZENDE, G.C.; MORAES, T.S.A. & SUITER, W.

- Teste de progênie de *Eucalyptus* spp - Resultados Preliminares. In: Congresso Florestal Brasileiro, 4, Belo Horizonte, maio 1982. Edição especial de Silvicultura, 8(28):340-5, 1983.
- 22 - MEYER, H.A. A correction for a systematic error occurring in the application of the logarithmic volume equations. Penn. For. Sch. Res. 3 p. (Paper, 7).
 - 23 - MITSCHERLICH, G. Untersuchungen über die Derbholzformzahl und neue Wege zu ihrer Ermittlung. M.F.F., 1942.
 - 24 - MOURA, V.P.G.; CASER, R.L.; ALBINO, J.C.; GUIMARÃES, D. P.; MELO, J.T. & COMASTRI, S.A. Avaliação de espécies e procedências de *Eucalyptus* em Minas Gerais e Espírito Santo; resultados parciais. Planaltina, EMBRAPA-DID, 1980, 104 p. (EMBRAPA - CPAC. Boletim de Pesquisa, 1).
 - 25 - PALM, R. Influence de la formule de cubage et de la longueur des billons sur la détermination du volume des arbres abattus. Annales des Sciences Forestières, 39(3):231-38, 1983.
 - 26 - PAULA NETO, F.; BRANDI, R.M.; RIBEIRO, J.C. & GUIMARÃES, D.P. Teste de aplicação de tabelas volumétricas para estimar a produção de plantações de *Eucalyptus paniculata* Sm., na região de Ipatinga, Minas Gerais. Revista Árvore, 1(2): 154-166. 1977.
 - 27 - PAULA NETO, F.; SOUZA, A.L.; QUINTAES, P.C.G. & SOARES, V. P. Análise de equações volumétricas para *Eucalyptus* spp, segundo o método de refenação na região de José de Melo - MG. Revista Árvore, 7(1): 56-70. 1983.
 - 28 - PEREIRA, A.R.; MORAIS, E.J. & FILHO, M.B.N. Implantação de florestas de ciclos-curtos sob novos modelos de espaçamentos. In: Congresso Florestal Brasileiro, 4, Belo Horizonte, maio 1982. Edição especial de Silvicultura, 8(28): 429-32, 1983.
 - 29 - PHILIP, M.S.; CHAMASHAMA, S.A.O.; ENYOLA, M.K.L. & ZIMBA, S.C. Studies of volume estimation of *Pinus patula* in Tanzania. Record, Division of Forestry, University of Dar es Salaam, nº 11, 1979. 19 p.

- 30 - POLLANSCHUTZ, J. Eine neue methode der formzahl und massenbestimmung stehender stamme. Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, Wien, (68):1-186.1965.
- 31 - POYTANIEMI, A.M. Stem form quotient system for Norway Spruce for use in Austrian Forest Inventory. Viena, Agricultural University, 1981. 121 p. Ph.D. thesis.
- 32 - SCHIFFEL, A. Form und Inhalt der Fichte Wien Mitt, a.d. forst Versuchswesen. Oesterreich Hf. 24.
- 33 - SCHMID, P.; ROIKO-JOKELA, P. MINGARD, P. & ZOBEIRY, M. The optimal determination of the volume of standing trees. Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien, (91): 33-54, 1971.
- 34 - SCHMID-HAAS, P. & WINZELER, K. Efficient determination of volume and volume growth. In: IUFRO World Congress, 17, Kyoto, 1981. Proceedings. Ikarashi, Japan Association for Forestry Statistics, s.d. p. 231-57.
- 35 - SCHMID-HAAS, P. & WULLSCHLEGER, E. Plans for Swiss National Inventory. In: IUFRO. Group S4.02 (Forest Resource Inventory) & IUFRO Group S4.04 (Forest Management Planning and Managerial Economics). National Forest Inventory; joint meeting of IUFRO groups. Bucharest, 1978. p.534-42.
- 36 - SCHUMACHER, F.X. & HALL, F.S. Logarithmic expression of tree volume. Washington, D.C. Jour. Agric. Res., 47(9): 719-34, 1933.
- 37 - SILVA, J.A. Estimativa dos erros sistemáticos na cubagem dos troncos pelos métodos de Hohenadl e Pressler. Floresta, 9(1): 8-13, 1978.
- 38 - SILVA, J.A. & SCHNEIDER, P.R. Estimativa indireta do fator de forma para o *Pinus taeda* L. Brasil Florestal, 48, p. 25-29, 1981.
- 39 - SILVA, J.A.A.; PAULA NETO, F.; BRANDI, R.M. & CONDÉ, A.R. Análise de modelos volumétricos para construção de tabelas de volume comercial de *Eucalyptus* spp., segundo a espécie, a região e os métodos de regeneração. Revista Árvore, 2(1): 86-99. 1978.

- 40 - SINGH, S.P. Second tree diameter and tree volume estimation. Indian Forester, 107(7): 142-15, 1981.
- 41 - SNEDECOR, G.W. Statistical Methods. Ames, Iowa State University Press, 1967. 593 p.
- 42 - SPAETH, J.N.; WALTERS, D.S. & KULP, D.A. A comparison of methods for determining cubic volumes of fence posts. Journal of Forestry. 50(2): 103-7, 1952.
- 43 - SPURR, S.H. Forest Inventory. New York, Ronald Press, 1952. 476 p.
- 44 - VEIGA, A.A. Subsídios para o cálculo de volume. Brasil Florestal, 8(32): 33-5, 1976.
- 45 - VEIGA, R.A.A. Comparação de equações de volume para *Eucalyptus saligna* Smith: III - Equações logarítmicas formais e não formais. Revista Floresta, 4(3): 5-14, 1973.
- 46 - VOORHOEVE, A.G. & BOWER, D.R. Volume tables of *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. s.l., Surinam Forest Service/Weyerhaeuser Company, s.d. 31 p.
- 47 - WAGNER, V.M. Ermittlung von Einzelstamm-Volumen mit $D_{1,3'}$, H und oberen Stammdurchmessern. Allgemeine Forst und Jagdzeitung, 153(4): 72-5. 1982.
- 48 - WIAANT, H.V. Form-class estimates: a simple guide. Journal of Forestry, 70:421-22, 1972.

ANEXO I

ANÁLISE DA PROPORÇÃO DA CASCA

ANÁLISE DA PROPORÇÃO DE CASCA

Em função da utilização a ser dada à madeira, muitas vezes importa conhecer a produção do volume sem casca ao invés do volume sobre casca.

Assim, a utilização dos modelos de cubagem através de posições superiores no tronco ficam limitadas à estimativa do volume incluindo a casca; a não ser que os modelos sejam desenvolvidos para uma única espécie.

Por outro lado, a inclusão de diâmetros sem casca em posições superiores reduziriam a praticidade dos modelos por passarem a exigir que a árvore fosse escalada para a obtenção destas variáveis.

Assim, passou-se a investigar sobre o percentual de casca das espécies incluídas no trabalho, tendo como base o relacionamento das circunferências com e sem casca ao nível do peito (1,30 metros).

Dos 38 povoamentos incluídos no trabalho, 35 tiveram seus volumes também cubados sem casca. Destes, foram selecionados 15 para as investigações preliminares.

Procedeu-se o correlacionamento entre os volumes com e sem casca através de regressões lineares, cujos resultados são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 - RELACIONAMENTO ENTRE OS VOLUMES COM E SEM CASCA ATRAVÉS DE REGRESSÃO LINEAR SIMPLES.

| CÓDIGO | INTERCEPTO | INCLINAÇÃO | SIG. (b_0) * | R ² |
|----------|------------|------------|------------------|----------------|
| ALDN4222 | 0,00427 | 0,77644 | 0,01 | 0,9958 |
| ALDN7132 | -0,00529 | 0,87265 | 0,01 | 0,9995 |
| ALSF3222 | 0,00557 | 0,73859 | 0,01 | 0,9962 |
| CAEX7132 | -0,01037 | 0,84724 | 0,01 | 0,9974 |
| CIEX7132 | -0,01948 | 0,86400 | 0,01 | 0,9955 |
| CLEX7132 | -0,03285 | 0,91011 | 0,01 | 0,9809 |
| GRCF7132 | -0,00503 | 0,86349 | 0,01 | 0,9990 |
| GRDN5132 | -0,00044 | 0,85232 | N.S. | 0,9991 |
| GREX7132 | -0,01114 | 0,87590 | 0,01 | 0,9992 |
| MAEX7132 | -0,01436 | 0,87044 | 0,01 | 0,9968 |
| PEEX7132 | -0,00721 | 0,77883 | 0,05 | 0,9864 |
| PIEX7132 | -0,00989 | 0,85023 | 0,01 | 0,9949 |
| PREX7132 | -0,01205 | 0,82037 | 0,01 | 0,9930 |
| SADN3222 | -0,00126 | 0,87253 | 0,05 | 0,9981 |
| TEEX7132 | -0,01389 | 0,82446 | 0,01 | 0,9938 |

* Nível de significância em comparação com a distribuição de F.

Analizando as equações referentes ao relacionamento linear entre os volumes com e sem casca, pôde-se constatar que dentro da mesma espécie, existem tendências em apresentar maiores interceptos (b_0) sempre que as árvores com maiores dimensões são incluídas no modelo.

Assim, certificou-se de que este correlacionamento não poderia ser linear.

Para os povoamentos CAEX7132, CIEX7132, CLEX7132, GREX 7132, MAEX7132 e PREX7132, foram inclusive constatados valores negativos quando as árvores menores tinham seus volumes sem casca estimados pelo modelo linear.

Deste modo, optou-se em dividir os dados referentes à cada povoamento em classes de 20 cm de circunferência e ajustá-los ao modelo linear excluindo o intercepto.

Os valores encontrados para o coeficiente de inclinação

(b₁) são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 - COEFICIENTES DE AJUSTE PARA O RELACIONAMENTO ENTRE
AS RAZÕES C_{sc}/C_{cc} E V_{sc}/V_{cc} .

| CÓDIGO | Classes de Circunferência ao Nível do Peito | | | | |
|----------|---|---------|---------|---------|---------|
| | <20 | 20 - 40 | 40 - 60 | 60 - 80 | >80 |
| ALCF5132 | 0,89681 | 0,91348 | 0,92369 | 0,91667 | |
| ALCF5222 | 0,89899 | 0,90983 | 0,92544 | 0,92842 | |
| ALCF6132 | 0,90583 | 0,90376 | 0,92490 | 0,93194 | |
| ALCF7222 | | 0,92200 | 0,93121 | 0,93363 | |
| ALCF8122 | | 0,91538 | 0,92852 | 0,92503 | 0,94271 |
| ALCF8222 | 0,92019 | 0,92661 | 0,92774 | 0,92912 | 0,91857 |
| ALDN4222 | 0,91265 | 0,91747 | 0,92234 | | |
| ALDN6222 | | 0,91697 | 0,93055 | | |
| ALDN7132 | 0,89612 | 0,92168 | 0,92832 | 0,93915 | 0,94167 |
| ALSF3222 | | 0,92276 | 0,92260 | | |
| CAEX7132 | | 0,88137 | 0,90403 | 0,92708 | |
| CIEX7132 | | 0,84913 | 0,89786 | 0,91555 | |
| CLEX7132 | | 0,83484 | 0,84011 | 0,90864 | |
| CLMC5121 | 0,95094 | 0,94640 | 0,91518 | | |
| GRCB4131 | | 0,94224 | 0,93149 | 0,95737 | |
| GRCB5132 | 0,91450 | 0,92874 | 0,93622 | 0,93396 | |
| GRCF7132 | 0,90098 | 0,91245 | 0,93462 | 0,93622 | 0,94344 |
| GRDN4222 | 0,90140 | 0,92206 | 0,93366 | | |
| GRDN5132 | 0,90373 | 0,91814 | 0,92879 | 0,94107 | |
| GRDN5222 | | 0,93002 | 0,94285 | | |
| GRDN7222 | 0,90507 | 0,93137 | 0,94201 | 0,94454 | |
| GREX7132 | | 0,91241 | 0,92683 | 0,93856 | 0,94671 |
| GRMC2132 | 0,91278 | 0,90020 | 0,92061 | | |
| GRMC5121 | 0,92162 | 0,92321 | 0,92237 | | |
| GRSB4132 | 0,90663 | 0,92435 | 0,94924 | 0,93876 | |
| GRSF6222 | | 0,90530 | 0,92819 | 0,92483 | |
| MAEX7132 | | 0,85758 | 0,87413 | 0,88767 | 0,92706 |
| PEEX7132 | | 0,82169 | 0,87218 | 0,89353 | |
| PIEX7132 | | 0,87433 | 0,90580 | 0,89656 | |
| PREX7132 | | 0,84083 | 0,85276 | 0,88750 | |
| SACF7222 | 0,91448 | 0,91493 | 0,93506 | 0,94579 | |
| SADN3222 | | 0,91918 | 0,93228 | | |
| SADN8122 | 0,90715 | 0,91497 | 0,93245 | 0,93997 | 0,94228 |
| SASF6222 | | 0,92210 | 0,92075 | 0,91985 | |
| TEEX7132 | | 0,85408 | 0,88585 | 0,91059 | 0,92216 |

Verificadas as tendências de alterações destes coeficientes, notou-se que estes poderiam ser explicados por modelos logarítmicos.

Para os povoamentos compostos pelas espécies *E. alba*, *E. grandis* e *E. saligna*, em função do número de povoamentos para cada espécie, o ajustamento dos modelos foi possível.

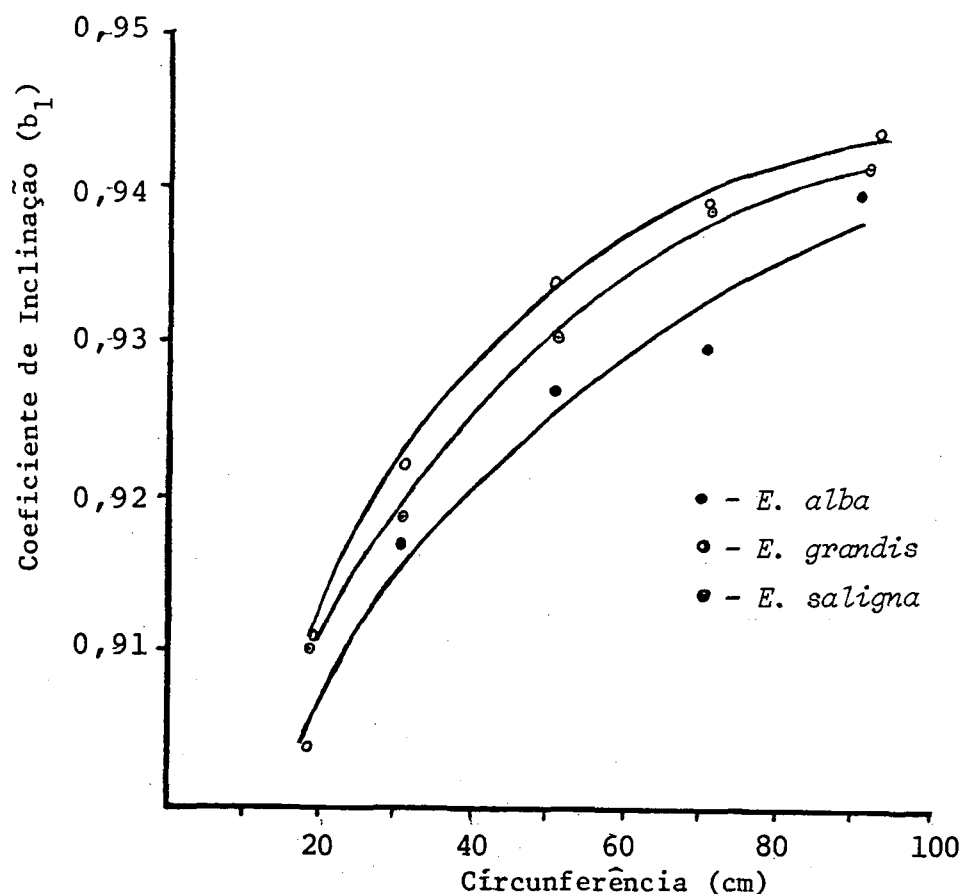
Estes modelos eram da forma:

$\ln(\hat{\beta}_1) = b_0 + b_1 \cdot \ln C_{1,30}$ sendo a circunferência expressa em centímetros, obteve-se os seguintes resultados:

| Espécie | b_0 | b_1 | R^2 |
|-------------------|----------|---------|--------|
| <i>E. alba</i> | -0,16449 | 0,02229 | 0,9677 |
| <i>E. grandis</i> | -0,15924 | 0,02277 | 0,9970 |
| <i>E. saligna</i> | -0,16107 | 0,02267 | 0,9942 |

As tendências de variações destes coeficientes em relação às dimensões das árvores são mostradas na Figura 1.

Figura 1 - VARIAÇÕES DA RAZÃO $(V_{sc}/V_{cc})/(C_{sc}/C_{cc})$ EM FUNÇÃO DE $C_{1,3}$ PARA *E. alba*, *E. grandis* E *E. saligna*.



Em função da proximidade dos valores dos coeficientes, verificou-se que um único modelo poderia ajustá-los.

Portanto, o relacionamento entre as razões mostrou que:

$$b \cdot C_{sc}/C_{1,30} = V_{sc}/V_{cc}$$

Pelo correlacionamento entre o coeficiente "b" e as dimensões diamétricas, obteve-se:

$$\text{Ln}b = b_0 + b_1 \cdot \text{Ln}C_{1,3}$$

Por substituição, teríamos:

$$V_{sc}/V_{cc} = C_{sc}/C_{1,3} \cdot e^{b_0 + b_1 \cdot \text{Ln}C_{1,3}}$$

Como a porcentagem de casca é dada por:

$$\% \text{ casca} = ((V_{cc} - V_{sc})/V_{cc}) \cdot 100$$

ou

$$\% \text{ casca} = (1 - V_{sc}/V_{cc}) \cdot 100$$

A estimativa do percentual de casca para estas três espécies poderia ser efetuada pelo modelo:

$$\% \text{ casca} = 100(1 - C_{sc}/C_{1,3} \cdot e^{-0,16024 + 0,02226 \cdot \text{Ln}C_{1,3}})$$

Onde: C_{sc} = Circunferência sem casca ao nível do peito.

$C_{1,3}$ = Circunferência com casca ao nível do peito.

Nota - Ambas as circunferências devem estar medidas em centímetros.

Os resultados sobre a aplicação deste modelo aos dados (Tabela 3) foram considerados amplamente satisfatórios, o que indica a sua utilização para estas espécies.

A obtenção deste modelo reveste-se de especial importância para a estimativa do volume sem casca pelo fato de agrupar as três espécies que compõem a maioria dos reflorestamentos com eucalipto no Brasil, ou seja, *E. alba* "híbrido de Rio Claro", *E. grandis* e *E. saligna*.

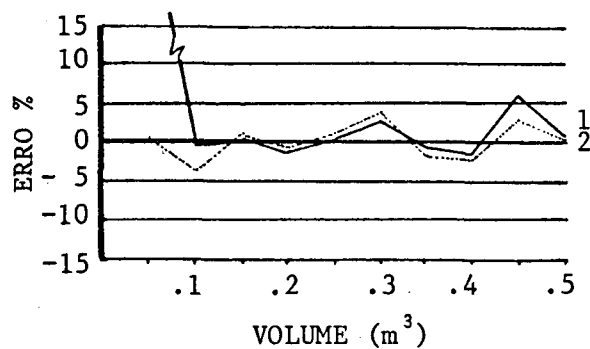
Tabela 3 - ERRO MÉDIO POR CLASSE DE CIRCUNFERÊNCIA PARA AS ESPÉCIES *E. alba*, *E. grandis* E *E. saligna*; RESULTANTE DA ESTIMATIVA DA PERCENTAGEM DE CASCA ATRAVÉS DE UM ÚNICO MODELO.

| CÓDIGO | Classes de Circunferência ao Nível do Peito | | | | |
|----------|---|---------|---------|---------|-------|
| | <20 | 20 - 40 | 40 - 60 | 60 - 80 | >80 |
| ALCF5132 | -1,29 | -0,59 | -0,62 | -2,11 | |
| ALCF5222 | -1,05 | -0,99 | -0,43 | -0,86 | |
| ALCF6132 | -0,30 | -1,65 | -0,49 | -0,48 | |
| ALCF7222 | | 0,33 | 0,19 | -0,30 | |
| ALCF8122 | | -0,39 | -0,10 | -1,22 | 0,11 |
| ALCF8222 | 1,28 | 0,83 | -0,18 | -0,78 | -1,39 |
| ALDN4222 | 0,45 | -0,16 | -0,77 | | |
| ALDN6222 | | -0,21 | 0,12 | | |
| ALDN7132 | -1,37 | 0,30 | -0,12 | 0,29 | 0,00 |
| ALSF3222 | | 0,41 | -0,74 | | |
| GRCB4131 | | 2,53 | 0,22 | 2,23 | |
| GRCB5132 | 0,65 | 1,06 | 0,73 | -0,26 | |
| GRCF7132 | -0,83 | -0,71 | 0,55 | -0,02 | 0,18 |
| GRDN4222 | -0,79 | 0,34 | 0,45 | | |
| GRDN5132 | -0,53 | -0,08 | -0,07 | 0,49 | |
| GRDN5222 | 1,20 | 1,44 | | | |
| GRDN7222 | -0,38 | 1,35 | 1,35 | 0,86 | |
| GREX7132 | | -0,71 | -0,28 | 0,22 | 0,53 |
| GRMC2132 | 0,46 | -2,04 | -0,95 | | |
| GRMC5121 | 1,44 | 0,46 | -0,76 | | |
| GRSB4132 | -0,21 | 0,59 | 2,13 | 0,25 | |
| GRSF6222 | | -1,48 | -0,14 | -1,24 | |
| SACF7222 | 0,65 | -0,44 | 0,60 | 1,00 | |
| SADN7222 | | 0,02 | 0,30 | | |
| SADN8122 | -0,15 | -0,43 | 0,32 | 0,37 | 0,06 |
| SASF6222 | | 0,34 | -0,94 | -1,77 | |

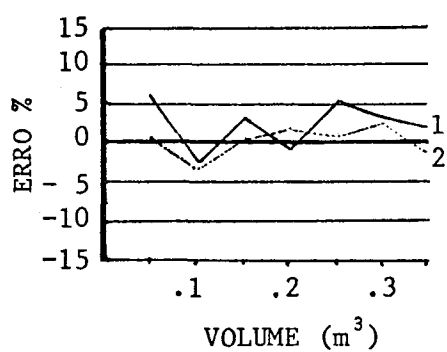
ANEXO II

ERROS PERCENTUAIS POR CLASSE DE VOLUME DETERMINADOS PELO
AJUSTE DE EQUACÕES DE VOLUME AOS DADOS OBTIDOS POR
CUBAGEM RIGOROSA(1) E ESTIMADOS ATRAVÉS DE
POSICÕES ABSOLUTAS NO TRONCO(2).

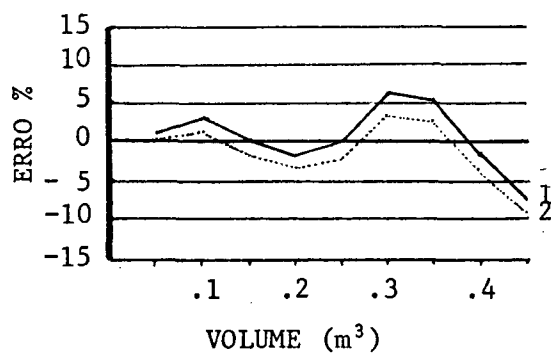
POVOAMENTO ALCF5132



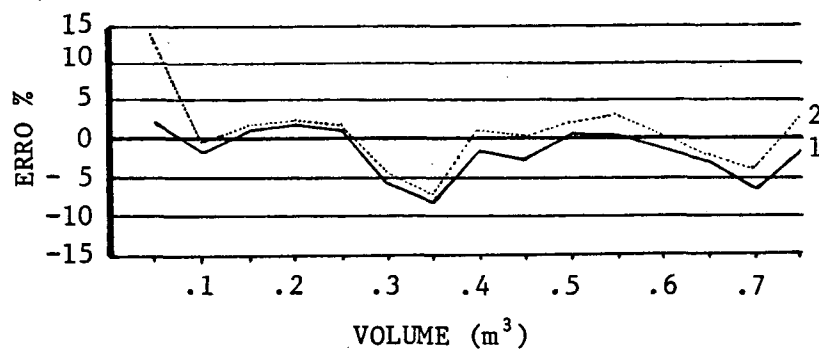
POVOAMENTO ALCF5222



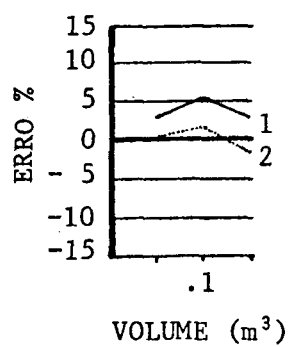
POVOAMENTO ALCF6132



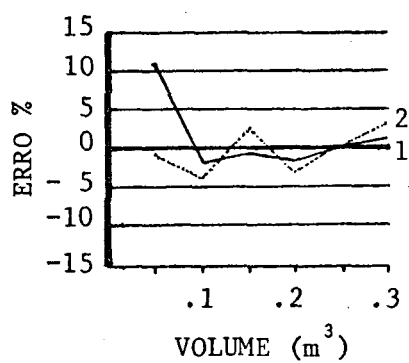
POVOAMENTO ALCF8122



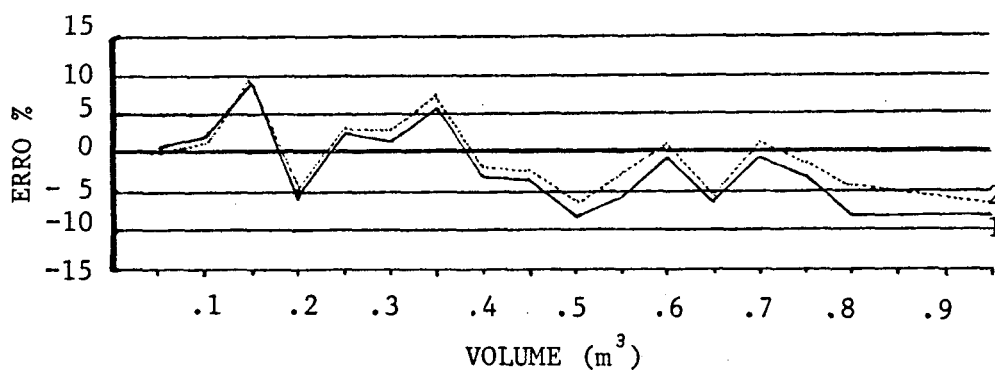
POVOAMENTO ALDN4222



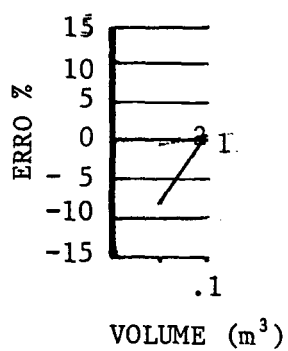
POVOAMENTO ALDN6222



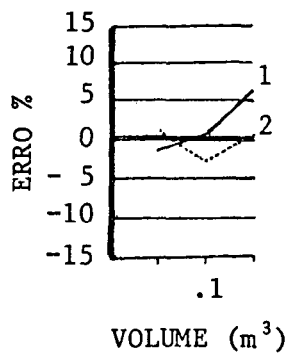
POVOAMENTO ALDN7132



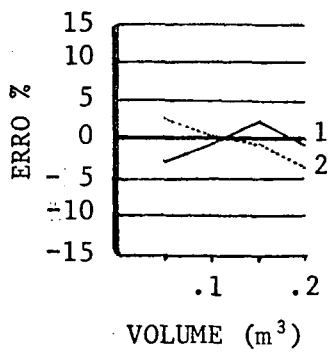
POVOAMENTO ALPA6131



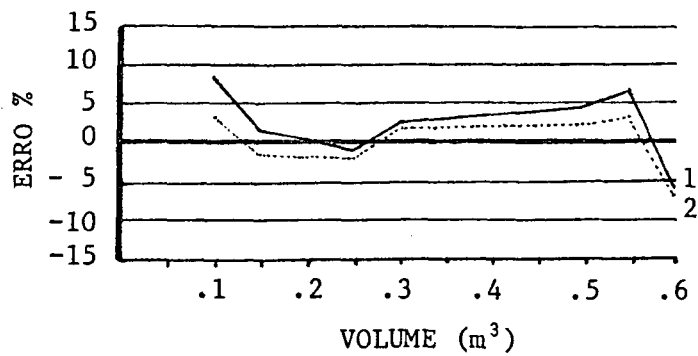
POVOAMENTO ALSF3222



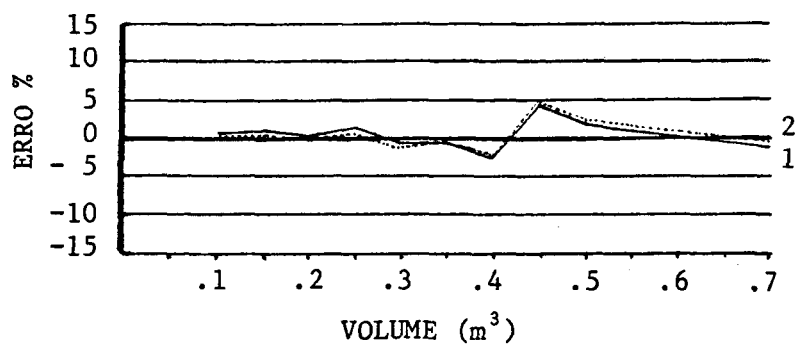
POVOAMENTO ALTM9131



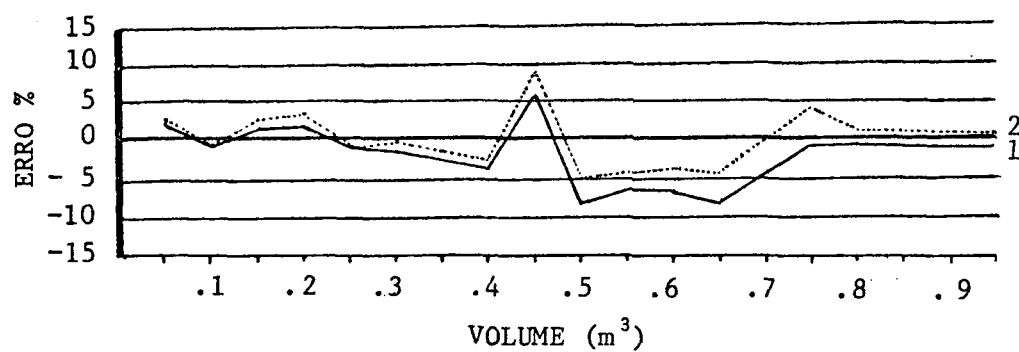
POVOAMENTO CAEX7132



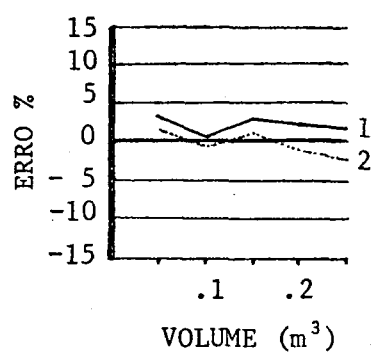
POVOAMENTO CIEX7132



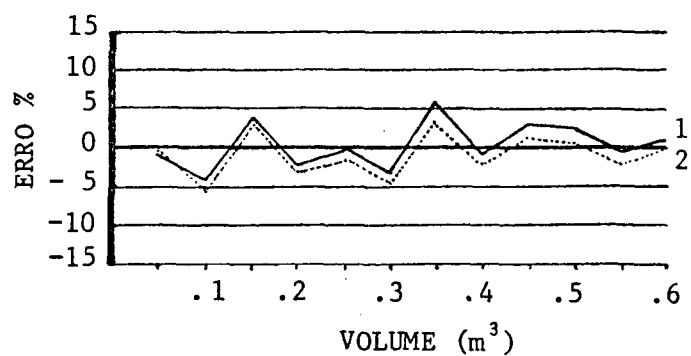
POVOAMENTO GRCF7132



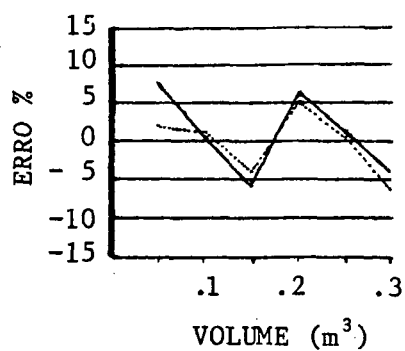
POVOAMENTO GRDN4222



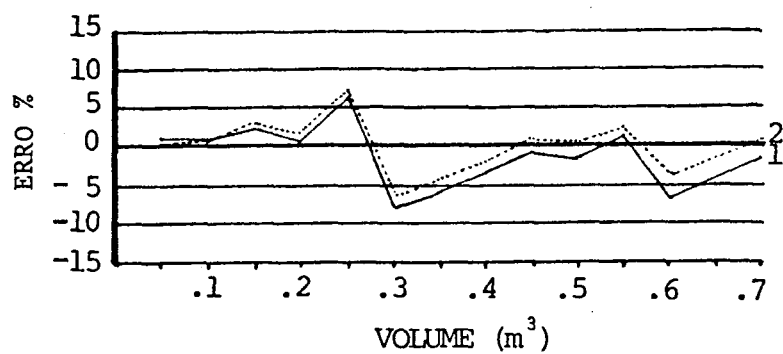
POVOAMENTO GRDN5132



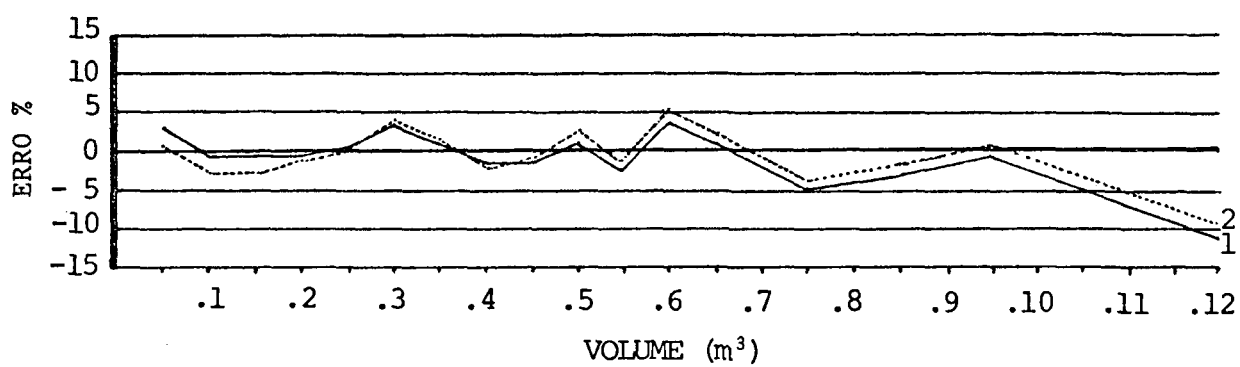
POVOAMENTO GRDN5222



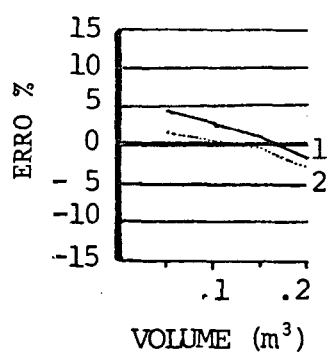
POVOAMENTO GRDN7222



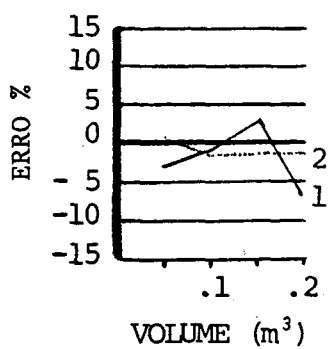
POVOAMENTO GREX7132



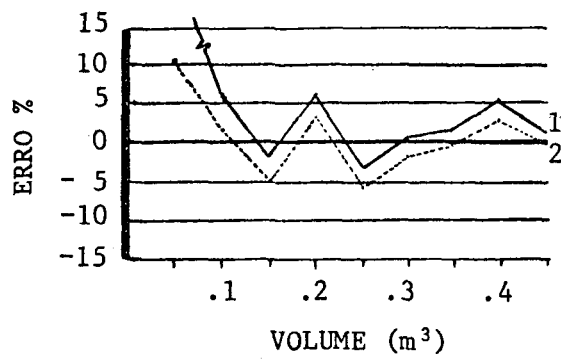
POVOAMENTO GRMC5121



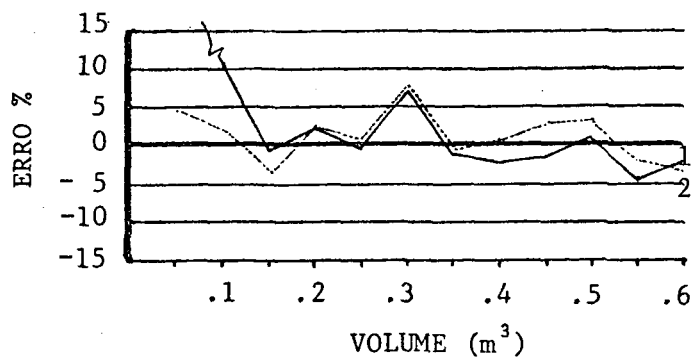
POVOAMENTO GRPA5131



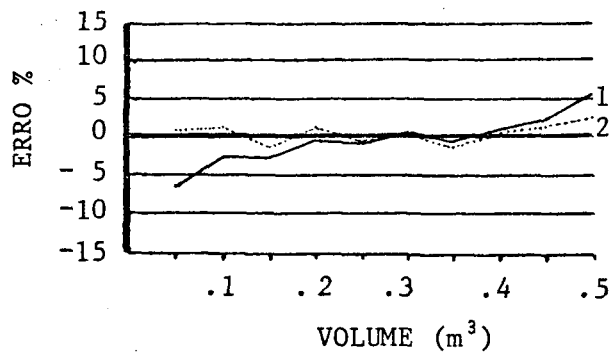
POVOAMENTO GRSF6222



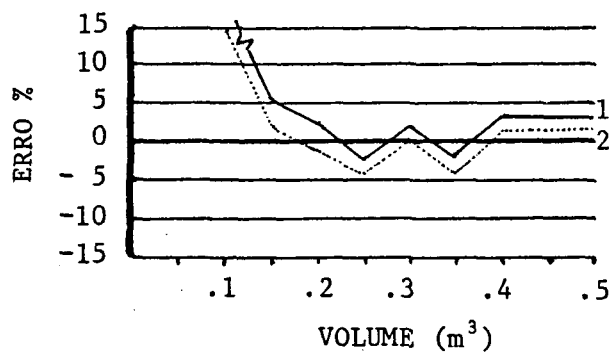
POVOAMENTO MAEX7132



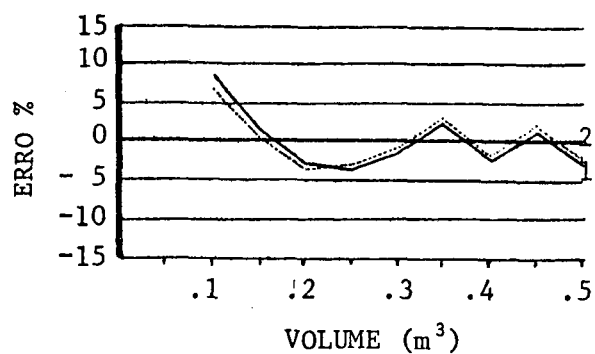
POVOAMENTO PREX7132



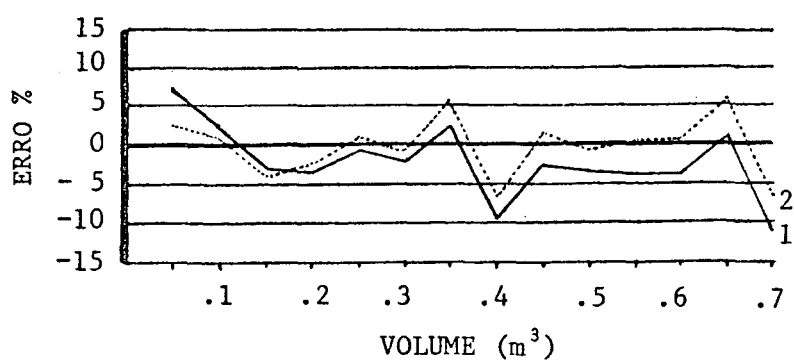
POVOAMENTO PIEX7132



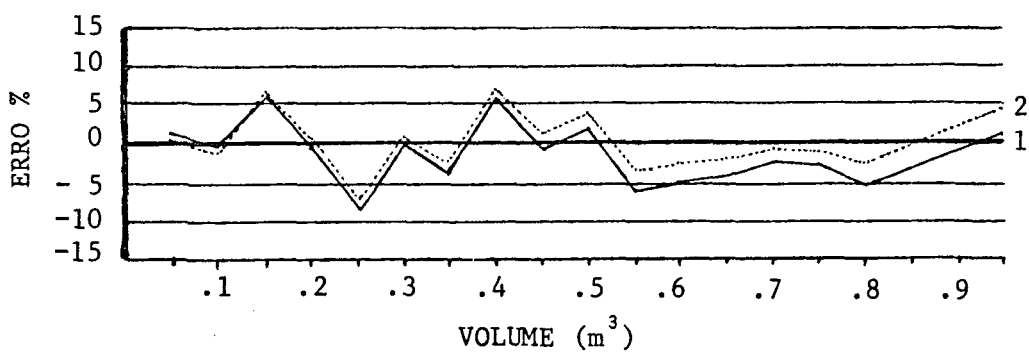
POVOAMENTO PEEX7132



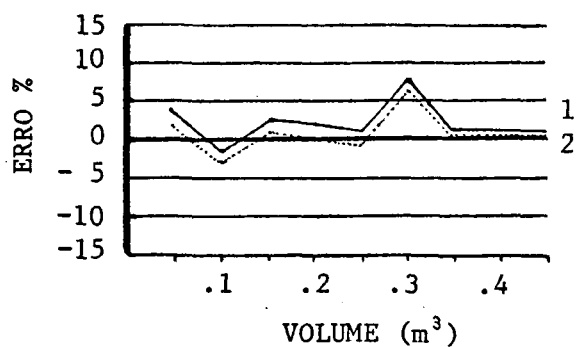
POVOAMENTO SACF7222



POVOAMENTO SADN8122



POVOAMENTO SASF6222



POVOAMENTO TEEX7132

